



TUGAS AKHIR - MO 141326

PEMODELAN NUMERIK PROFIL 2D *SCOURING*  
PADA PIPA BAWAH LAUT DENGAN VARIASI  
JARAK *CLEARANCE* TERHADAP DASAR LAUT

LIESTIA BUDIARTI

NRP. 4312 100 039

Dosen Pembimbing :

Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.

Agro Wisudawan, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



**FINAL PROJECT - MO 141326**

**NUMERICAL MODELLING 2D SCOURING  
PROFILE BELOW SUBMARINE PIPELINE WITH  
VARIATION OF CLEARANCE TOWARD SEABED**

**LIESTIA BUDIARTI**

**NRP. 4312 100 039**

**Supervisors :**

**Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.**

**Agro Wisudawan, S.T., M.T.**

**OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT**

**Faculty Of Marine Tecnology**

**Sepuluh Nopember Institute of Technology**

**Surabaya 2016**

**PEMODELAN NUMERIK PROFIL 2D SCOURING PADA PIPA  
BAWAH LAUT DENGAN VARIASI JARAK *CLEARANCE*  
TERHADAP DASAR LAUT**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**LIESTIA BUDIARTI**

NRP. 4312100039

Disetujui oleh :

1. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Agro Wisudawan, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D (Penguji 1)

4. Sholihin, S.T., M.T. (Penguji 2)

5. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D. (Penguji 3)

Surabaya, Juli 2016

# **PEMODELAN NUMERIK PROFIL 2D *SCOURING* PADA PIPA BAWAH LAUT DENGAN VARIASI JARAK *CLEARANCE* TERHADAP DASAR LAUT**

**Nama** : Liestia Budiarti  
**NRP** : 4312100039  
**Jurusan** : Teknik Kelautan – FTK ITS  
**Dosen Pembimbing** : Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.  
Agro Wisudawan, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

Penggunaan pipa bawah laut sebagai salah satu alternatif moda transportasi untuk mendistribusikan hasil eksplorasi minyak dan gas bumi dari laut lepas menuju darat dirasa lebih efektif dibandingkan dengan model transportasi terapung sejenis kapal tanker karena pada kondisi cuaca ekstrim sekalipun *pipeline* masih bisa beroperasi tanpa terjadi kendala. Namun, ada beberapa permasalahan yang diakibatkan oleh keberadaan jalur transmisi pipa bawa laut. Ketika pipa diletakkan di dasar laut yang mudah tererosi, keberadaannya akan mempengaruhi pola dan karakteristik aliran fluida di sekitarnya. Seiring dengan waktu, fluida akan menggerus lapisan tanah sehingga terbentuklah formasi lubang yang disebut lubang *scour*. Penggerusan (*scouring*) akan mempengaruhi stabilitas pipa. *Scouring* merupakan tahap awal yang akan berujung pada kegagalan struktur. Dalam tugas akhir ini akan dibahas mengenai bagaimana menghitung kedalaman dan lebar lubang *scour* dengan pendekatan matematis. Dengan bantuan bahasa pemrograman *Compact Visual Fortran* akan dihitung laju propagasi *scouring* sehingga menghasilkan sketsa profil 2D *scouring*. Gap antara pipa dan dasar laut akan divariasikan untuk mengetahui bagaimana pengaruh jarak pipa terhadap kedalaman *scouring* yang dihasilkan.

Sebagai studi kasus, digunakan data pipa gas transmisi SSWJ jalur Labuhan Maringgai-Muara Bekasi yang dioperasikan oleh PT. PGN. Hasil yang

didapatkan menunjukkan bahwa ada indikasi keterkaitan antara kedalaman perairan serta gap/*clearance* yang telah divariasikan dengan kedalaman dan lebar *scouring* yang dihasilkan. Semakin dalam suatu perairan, maka kedalaman dan lebar *scouring* yang dihasilkan akan semakin kecil dan sebaliknya. Kedalaman maupun lebar lubang *scour* merupakan dampak dari berubahnya kecepatan orbital gelombang sehingga mempengaruhi nilai Keulegan-Carpenter Number dan kecepatan efektif antara arus dengan kecepatan orbital gelombang. Selain itu, analisa terhadap perilaku *scouring* akibat variasi jarak *clearance* pipa terhadap *seabed* menunjukkan bahwa semakin besar gap yang terjadi, maka lubang *scour* akan semakin mengecil. Dalam hal ini kedalaman *scouring* yang terbesar adalah pada saat pipa meletak pada *seabed* ( $E=0$ ).

**Kata Kunci** : *scouring*, pipa bawah laut, profil 2D, pemodelan numerik

# **NUMERICAL MODELLING 2D *SCOURING* PROFILE BELOW SUBMARINE PIPELINE WITH VARIATION OF CLEARANCE TOWARD SEABED**

**Name** : Liestia Budiarti  
**NRP** : 4312100039  
**Department** : Ocean Engineering – FTK ITS  
**Supervisor** : Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.  
Agro Wisudawan, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

The use of subsea pipelines as an alternative mode of transportation to distribute the products of oil and gas exploration from offshore to onshore, or the opposite, is more effective compared to tankers as model of floating transportation. Besides, pipeline can operate even in the extreme weather. However, there are some problems caused by the presence of the transmission of submarine pipeline. When a pipe laid on the erodible seabed, its presence will affect the pattern and characteristics of the vicinity fluid flow. As time passed by, the fluid will erode the soil layer, forming a hole formations called scour hole. Scouring will affect the stability of the pipeline. It was the initial stage that will lead to structural failure. In this final project will be discussed on how to calculate the depth and width of the scour hole with a mathematical approach. The calculation of scour depth and scour width are programmed with the help of Compact Visual Fortran and result 2D profile of scour hole. The clearance between pipe and seabed is varied in order to know the influence of gap to the scour depth.

As a case study will be used the data transmission gas pipeline SSWJ Labuhan path Maringgai-Muara Bekasi operated by PT PGN. The results obtained show that there is indications of links between the water depth and the gap/clearance which has varied through depth and width of the scour hole

occured. Increasingly the deeper of water depth, the smaller depth and width scour hole. The results of depth and width of scour hole are the impact on the changing of wave orbital velocity, so it will influence to the value of Keulegan-Carpenter Number and effective velocity between steady current and wave orbital velocity. Besides that, behavior analysis of scouring with the variation of pipe gap/clearance and seabed indicate that the bigger gap, the shallower the depth of scour resulting. The deepest scour depth is occurred at the moment of laying pipe on the seabed ( $E=0$ ).

**Keyword : scouring, submarine pipeline, 2D profile, numerical modelling**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>COVER .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori .....	6
2.2.1 <i>Scouring</i> .....	6
2.2.2 Kedalaman <i>Scouring</i> .....	10
2.2.3 Lebar <i>Scouring</i> .....	13
2.2.4 Laju Propagasi <i>Scouring</i> .....	14
2.2.5 Periode <i>Scouring (Time scale)</i> .....	14
2.2.6 Perhitungan Properti Gelombang .....	16
2.2.7 Teori Gelombang .....	16
2.2.8 Kecepatan Efektif Partikel Air .....	19
2.2.9 Bahasa Pemrograman .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
3.1 Diagram Alir .....	23



3.2 Metodologi Penelitian .....	26
3.2.1 Studi Literatur .....	26
3.2.2 Perumusan Masalah .....	26
3.2.3 Pengumpulan Data .....	26
3.2.4 Pengolahan Data .....	27
3.2.5 Pemrograman Numerik .....	28
3.2.6 Analisa Data .....	28
3.2.7 Kesimpulan dan Saran .....	28
3.2.8 Penyusunan Laporan .....	28
3.3 Algoritma Pemrograman .....	29
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Analisa Data Lingkungan .....	33
4.1.2 Perhitungan Teori Gelombang .....	38
4.1.3 Menghitung Panjang Gelombang dan Kecepatan Orbital Gelombang .....	39
4.2 Pemrograman untuk Perhitungan <i>Scouring</i> .....	41
4.2.1 Perhitungan Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i> .....	42
4.2.2 Perhitungan Laju Propagasi <i>Scouring</i> dan <i>Time scale Scouring</i> .....	47
4.2.2.1 Laju Propagasi <i>Scouring</i> Fungsi (x) .....	47
4.2.2.2 Laju Propagasi <i>Scouring</i> Terhadap Waktu ( <i>Time scale Scouring</i> ) .....	57
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>69</b>
5.1 Kesimpulan .....	69
5.2 Saran .....	70
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>71</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> <i>Layout</i> Proyek Pipa Gas Transmisi PGN .....	2
<b>Gambar 2.1</b> Jenis <i>scouring</i> pada pipa (Leeuwestein, 1984) .....	9
<b>Gambar 2.2</b> Profil 2D Lubang Scour (Mao, 1986) .....	14
<b>Gambar 2.3</b> Laju Propagasi <i>Scouring</i> (dalam menit) (Mao, 1986).....	15
<b>Gambar 2.4</b> Grafik <i>Regions of Validity of Wave Theories</i> (Mousselli, 1981) .....	17
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Prosedur Pengerjaan Tugas Akhir .....	23
<b>Gambar 3.2</b> Algoritma Pemrograman .....	29
<b>Gambar 4.1</b> Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah .....	36
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah .....	36
<b>Gambar 4.3</b> Peta Lokasi Jalur Pipa Bawah Laut PT. PGN yang dianalisa .....	37
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Kedalaman Maksimum <i>Scouring</i> Pada Zona 3 - 17.....	44
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Lebar <i>Scouring</i> Pada Zona 3 - 17.....	45
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Hubungan Antara Ucw dan Sdmax.....	45
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Hubungan Antara KC dan Sdmax.....	46
<b>Gambar 4.8</b> Kurva Regresi Perhitungan Kedalaman <i>Scouring</i> dari Hasil Pemrograman Dibandingkan Dengan Data Monitoring .....	47
<b>Gambar 4.9</b> Profil 2D <i>Scouring</i> Terhadap Pipa Pada Zona 3 .....	50
<b>Gambar 4.10</b> Profil 2D <i>Scouring</i> Terhadap Pipa Pada Zona 4 .....	51
<b>Gambar 4.11</b> Profil 2D <i>Scouring</i> Terhadap Pipa Pada Zona 9 .....	52
<b>Gambar 4.12</b> Profil 2D <i>Scouring</i> Terhadap Pipa Pada Zona 12 .....	53
<b>Gambar 4.13</b> Profil 2D <i>Scouring</i> Terhadap Pipa Pada Zona 17 .....	54
<b>Gambar 4.14</b> Perkembangan Kedalaman <i>Scouring</i> Hingga Mencapai Tahap Kesetimbangan.....	61
<b>Gambar 4.15</b> Sketsa Laju Propagasi <i>Scouring</i> Pada Zona 3 .....	62
<b>Gambar 4.16</b> Sketsa Laju Propagasi <i>Scouring</i> Pada Zona 4 .....	63
<b>Gambar 4.17</b> Sketsa Laju Propagasi <i>Scouring</i> Pada Zona 9 .....	64
<b>Gambar 4.18</b> Sketsa Laju Propagasi <i>Scouring</i> Pada Zona 12 .....	65
<b>Gambar 4.19</b> Sketsa Laju Propagasi <i>Scouring</i> Pada Zona 17 .....	66
<b>Gambar 4.20</b> Grafik Hubungan Antara Shields Parameter dengan <i>Time Scale</i> ..	67

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b> Kedalaman Air Pada Zona Lokasi Pipa Bawah Laut .....	33
<b>Tabel 4.2</b> Kondisi Pipa Pada Rentang Kilometer Point .....	33
<b>Tabel 4.3</b> Data Lingkungan Di Tiap Zona .....	38
<b>Tabel 4.4</b> Panjang dan Kecepatan Orbital Gelombang Pada Zona 3 .....	39
<b>Tabel 4.5</b> Panjang dan Kecepatan Orbital Gelombang Pada Zona 4 .....	40
<b>Tabel 4.6</b> Panjang dan Kecepatan Orbital Gelombang Pada Zona 9 .....	40
<b>Tabel 4.7</b> Panjang dan Kecepatan Orbital Gelombang Pada Zona 12 .....	40
<b>Tabel 4.8</b> Panjang dan Kecepatan Orbital Gelombang Pada Zona 17 .....	41
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Perhitungan Program Scour.FOR untuk Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i> pada Zona 3.....	42
<b>Tabel 4.10</b> Hasil Perhitungan Program Scour.FOR untuk Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i> pada Zona 4.....	42
<b>Tabel 4.11</b> Hasil Perhitungan Program Scour.FOR untuk Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i> pada Zona 9.....	42
<b>Tabel 4.12</b> Hasil Perhitungan Program Scour.FOR untuk Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i> pada Zona 12.....	43
<b>Tabel 4.13</b> Hasil Perhitungan Program Scour.FOR untuk Kedalaman dan Lebar <i>Scouring</i> pada Zona 17.....	43
<b>Tabel 4.14</b> Tabel Perhitungan Kedalaman <i>Scouring</i> dengan Variasi Gap pada Zona 3 .....	49
<b>Tabel 4.15</b> Tabel Perhitungan Kedalaman <i>Scouring</i> dengan Variasi Gap pada Zona 4.....	49
<b>Tabel 4.16</b> Tabel Perhitungan Kedalaman <i>Scouring</i> dengan Variasi Gap pada Zona 9 .....	50
<b>Tabel 4.17</b> Tabel Perhitungan Kedalaman <i>Scouring</i> dengan Variasi Gap pada Zona 12.....	50
<b>Tabel 4.18</b> Tabel Perhitungan Kedalaman <i>Scouring</i> dengan Variasi Gap pada Zona 17 .....	51
<b>Tabel 4.19</b> Tabel Informasi Grafik Laju Propagasi <i>Scouring</i> Untuk Zona 3 .....	52
<b>Tabel 4.20</b> Tabel Informasi Grafik Laju Propagasi <i>Scouring</i> Untuk Zona 4 .....	53

<b>Tabel 4.21</b> Tabel Informasi Grafik Laju Propagasi <i>Scouring</i> Untuk Zona 9 .....	54
<b>Tabel 4.22</b> Tabel Informasi Grafik Laju Propagasi <i>Scouring</i> Untuk Zona 12 .....	55
<b>Tabel 4.23</b> Tabel Informasi Grafik Laju Propagasi <i>Scouring</i> Untuk Zona 17 .....	56
<b>Tabel 4.24</b> Tabel <i>Time scale</i> dan Laju Propagasi <i>Scouring</i> pada Zona 3 .....	58
<b>Tabel 4.25</b> Tabel <i>Time scale</i> dan Laju Propagasi <i>Scouring</i> pada Zona 4 .....	58
<b>Tabel 4.26</b> Tabel <i>Time scale</i> dan Laju Propagasi <i>Scouring</i> pada Zona 9 .....	59
<b>Tabel 4.27</b> Tabel <i>Time scale</i> dan Laju Propagasi <i>Scouring</i> pada Zona 12.....	59
<b>Tabel 4.28</b> Tabel <i>Time scale</i> dan Laju Propagasi <i>Scouring</i> pada Zona 17.....	60
<b>Tabel 4.29</b> Tabel Informasi Sketsa 2D Laju Propagasi <i>Scouring</i> Terhadap Waktu Pada Zona 3 .....	62
<b>Tabel 4.30</b> Tabel Informasi Sketsa 2D Laju Propagasi <i>Scouring</i> Terhadap Waktu Pada Zona 4 .....	63
<b>Tabel 4.31</b> Tabel Informasi Sketsa 2D Laju Propagasi <i>Scouring</i> Terhadap Waktu Pada Zona 9 .....	64
<b>Tabel 4.32</b> Tabel Informasi Sketsa 2D Laju Propagasi <i>Scouring</i> Terhadap Waktu Pada Zona 12 .....	65
<b>Tabel 4.33</b> Tabel Informasi Sketsa 2D Laju Propagasi <i>Scouring</i> Terhadap Waktu Pada Zona 17 .....	66

## **DAFTAR LAMPIRAN**

**LAMPIRAN A** Data Umum Pipa

**LAMPIRAN B** Perhitungan Teori Gelombang Tiap Zona

**LAMPIRAN C** Perhitungan Iterasi Panjang Gelombang

**LAMPIRAN D** *Output* Pemodelan Laju Propagasi *Scouring*

**LAMPIRAN E** *Output* Pemodelan *Time Scale Scouring*

**LAMPIRAN F** Perhitungan Perkembangan Kedalaman *Scouring* Hingga  
Mencapai Tahap Keseimbangan

**LAMPIRAN G** Skrip Pemrograman *Compact Visual Fortran*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Meningkatnya kebutuhan akan energi dan bahan bakar di dunia menuntut adanya perkembangan fasilitas pemrosesan migas yang lebih efisien. Jaringan pipa bawah laut menjadi salah satu alternatif moda transportasi yang banyak digunakan oleh industri minyak dan gas bumi untuk mendistribusikan hasil produksi migasnya, baik yang berasal dari hasil eksplorasi darat maupun di lepas pantai. Keberadaan pipa bawah laut sebagai media pemindahan hasil produksi jarak jauh dirasa lebih efektif dan ekonomis jika dibandingkan dengan model transportasi lainnya seperti kapal tanker, walaupun dalam proses pemasangannya memerlukan perhatian khusus karena kerumitan dan mahalanya proses konstruksi dan instalasi. Selain itu, dalam kondisi cuaca ekstrim sekalipun pipa bawah laut masih dapat beroperasi seperti biasanya. Dengan demikian proses eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi tidak banyak mengalami kendala.

Dalam perancangannya, sistem jaringan pipa bawah laut harus memenuhi beberapa kriteria desain agar struktur dapat bekerja sesuai dengan fungsinya selama jangka waktu yang diperkirakan tanpa terjadi kegagalan. Ada dua faktor penting yang menjadi pertimbangan dalam menentukan dimensi dan kekuatan pipa, yaitu faktor *human error* dan faktor lingkungan. Faktor lingkungan menyebabkan korosi, kerusakan material, dan gerusan (*scouring*) yang disebabkan oleh gelombang dan arus. Sedangkan faktor manusia termasuk diantaranya disebabkan oleh permasalahan pengendalian kualitas baik dari desain maupun konstruksinya.

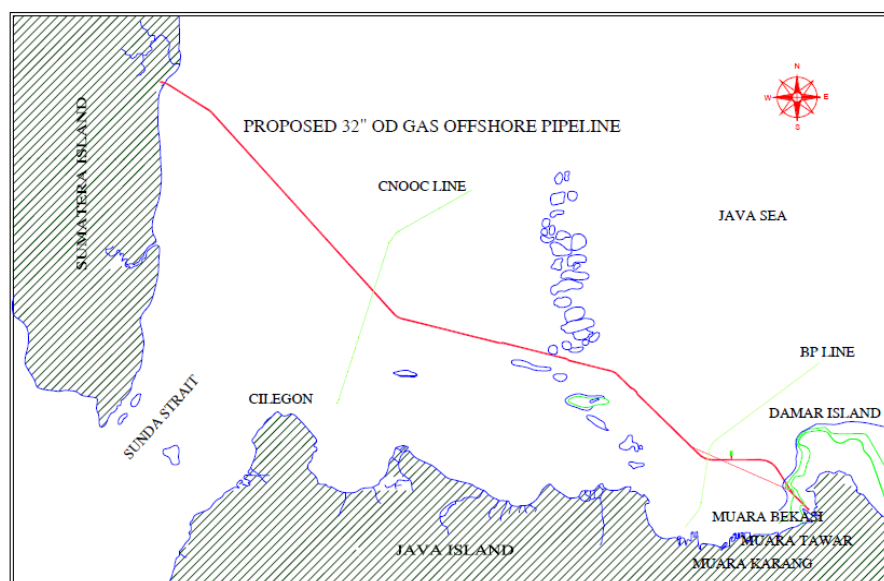
*Scouring* adalah salah satu penyebab utama kegagalan struktur yang banyak ditemukan pada stuktur bawah laut. *Scouring* merupakan fenomena penggerusan yang diakibatkan oleh adanya sebuah struktur (Coastal Engineering Manual, 2001). Ketika suatu struktur ditempatkan di dasar laut yang berpasir, keberadaanya akan mempengaruhi karakteristik aliran air di sekitarnya.

Perubahan kecepatan arus dan gelombang di sekitar struktur mengakibatkan terbentuknya formasi lubang yang disebut *scouring*. *Scouring*



akan mempengaruhi stabilitas struktur bawah air, baik struktur vertikal seperti tiang pancang dan pondasi, maupun struktur horizontal yakni pipa bawah laut. Pada tiang pancang vertikal, *scouring* akan menyebabkan daya dukung tanah menjadi berkurang sehingga dapat menyebabkan *slidding*. Sedangkan pada struktur horizontal seperti pipa akan mengakibatkan *freespan*. *Freespan* terjadi ketika struktur dan dasar laut kehilangan kontak. Ketika jarak *freespan* melebihi panjang yang diijinkan, pipa akan kehilangan tumpuan dan mengalami defleksi. Proses-proses tersebut mengarah pada kegagalan struktur dan akan menimbulkan kerugian secara finansial maupun kerusakan lingkungan.

Penelitian mengenai pengaruh lebar dan kedalaman *scouring* terhadap jaringan pipa bawah laut pernah dilakukan oleh Nugraha (2012). Penelitian tersebut mengambil studi kasus pipa gas transmisi SSWJ pipa gas Labuhan Maringgai-Muara Bekasi sebagai objek studi (lihat peta lokasi pada gambar 1.1). Jalur pipa ini merupakan bagian dari jalur transmisi yang mengalirkan gas dari Sumatera Selatan yang berasal dari sumber gas Pertamina dan Conoco Philips menuju Jawa Barat. Pipa yang berdimensi 32” dan terbentang hingga 165 km ini mulai beroperasi pada bulan Agustus 2007. Dalam penelitian tersebut dianalisa lebar dan kedalaman *scouring* yang terjadi akibat adanya pipa. Selain itu dari dimensi *scouring* yang terjadi dapat ditentukan panjang *freespan* yang diijinkan akibat fenomena *scouring* sehingga pipa tidak mengalami osilasi.



**Gambar 1.1** Layout Proyek Pipa Gas Transmisi PGN (sumber : PT. PGN)

Menghitung kedalaman *scouring* secara manual pada dasarnya mempunyai banyak keterbatasan. Karena perhitungannya yang dilakukan oleh manusia, maka kemungkinan terjadi *human error* sangat besar. Selain itu waktu yang dibutuhkan relatif lebih banyak sehingga menyebabkan ketidakefisienan dan proses pengambilan keputusan yang lebih lambat (Purwanto, 2001). Oleh karena itu, pengembangan *software* sebagai media untuk mempermudah kinerja manusia sangat diperlukan. Mengingat perkembangan teknologi yang semakin pesat dan dapat menjadi jawaban atas semua permasalahan manusia.

Dalam Tugas Akhir ini akan dikembangkan model numerik akibat fenomena *scouring* dengan variasi jarak *gap/clearance* pipa terhadap dasar laut. Analisa yang dilakukan mencakup dimensi *scouring* (kedalaman maksimum dan lebar *scouring*) serta parameter-parameter yang mempengaruhi terjadinya *scouring*. Studi kasus tersebut diterapkan pada pipa gas transmisi SSWJ jalur pipa gas Labuhan Maringgai-Muara Bekasi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dengan latar belakang yang telah diuraikan pada subbab sebelumnya, maka permasalahan yang diambil dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah bagaimana mengembangkan sebuah model berbasis bahasa pemrograman Fortran untuk menganalisa kondisi sebagai berikut.

1. Berapakah kedalaman maksimum dan lebar *scouring* yang terjadi?
2. Bagaimana profil dua dimensi *scouring* terhadap pipa?
3. Bagaimana laju propagasi *scouring* terhadap pipa?
4. Apa saja karakteristik parameter-parameter yang mempengaruhi kedalaman *scouring* pada pipa bawah laut?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penulisan tugas akhir berdasarkan rumusan masalah di atas adalah untuk memperoleh sebuah model numerik berbasis bahasa pemrograman Fortran yang mempunyai keluaran sebagai berikut :

1. Nilai kedalaman dan lebar *scouring* akibat keberadaan jalur pipa gas.
2. Profil dua dimensi *scouring* terhadap pipa.

3. Model laju propagasi *scouring* pada periode tertentu hingga mencapai kedalaman *scouring* maksimum ( $Sd_{max}$ ).
4. Analisa dan hubungan antara karakteristik parameter-parameter yang menyebabkan *scouring* pada pipa bawah laut dengan kedalaman *scouring* yang terjadi.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini yaitu dapat digunakan untuk memperhitungkan dimensi *scouring* akibat jalur transmisi pipa. Selain itu, pemodelan numerik dengan menggunakan bahasa pemrograman juga dapat dikembangkan sebagai salah satu metode untuk memprediksi laju propagasi *scouring*. Dengan demikian, hal tersebut dapat dijadikan sebagai acuan dalam perancangan dan penentuan desain kriteria pipa bawah laut.

#### 1.5 Batasan Masalah

Agar penulisan tugas akhir ini tidak keluar dari topik yang dibahas, maka batasan masalah yang dapat digunakan antara lain :

1. Analisa yang digunakan untuk menentukan profil *scouring* merupakan analisa dua dimensi.
2. Pembagian zona *pipeline* didasarkan pada kilometer point (KP) pipa gas transmisi SSWJ.
3. Pipa dalam kondisi meletak pada dasar laut tanpa perlakuan penimbunan (*trenching*).
4. *Clearance/gap* antara pipa dengan dasar laut divariasikan.
5. Sudut datang aliran air terhadap pipa adalah tegak lurus ( $\alpha = 90^\circ$ )
6. Profil arus dari permukaan hingga dasar laut mempunyai arah yang sama (*uniform flow*).
7. Dasar laut dianggap rata sepanjang pipa.
8. Jenis tanah yang digunakan adalah *non cohesiveness soil* dengan  $d_{50} = 0.00025$  m

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Sistem perpipaan bawah laut merupakan salah satu struktur berupa jaringan pipa yang berfungsi sebagai saluran untuk mengalirkan minyak dan gas bumi dari sumur pengeboran menuju terminal, *buoy*, atau *platform*. Pembangunan jaringan pipa untuk mengalirkan minyak mentah (*crude oil*) di darat pertama kali diprakarsai oleh Amerika Serikat pada tahun 1859 sebagai media untuk mengangkut minyak mentah (*crude oil*). Selama lebih dari setengah abad setelah masa percobaan, industri minyak dan gas bumi telah membuktikan bahwa jaringan pipa merupakan media transportasi jarak jauh yang efektif dan ekonomis untuk pengangkutan minyak mentah, gas alam, dan beberapa produk hasil olahan minyak bumi. (Guo et al. 2005). Setelah penggunaan untuk pertama kalinya tersebut, jaringan pipa terus berkembang pesat seiring dengan meningkatnya permintaan minyak bumi sebagai bahan bakar dan energi.

*Pipeline* adalah cara yang efektif untuk mengangkut minyak mentah dan gas alam di lingkungan lepas pantai di kedalaman kurang dari 2000 meter (Palmer dan King, 2008). Struktur tersebut dapat bekerja selama 24 jam sehari, 365 hari dalam setahun selama umur pipa yang mencapai 20 tahun atau lebih, sesuai dengan perencanaannya.

Sistem pipa bawah laut memerlukan perencanaan yang mendetil baik dari segi konstruksi maupun pada saat instalasi, dikarenakan fungsinya yang kompleks dan keberadaannya akan mengancam kerusakan lingkungan dan kerugian materiil jika terjadi kegagalan. Sumber utama kegagalan pada struktur pipa yang terjadi ketika telah melewati tahap instalasi adalah fenomena penggerusan (*scouring*). *Scouring* terjadi ketika terdapat jarak antara dasar laut dan pipa, sehingga menyebabkan pipa kehilangan tumpuan. Pada jarak tertentu saat mengalami penggerusan, bentangan pipa membentuk *freespan*. Semakin besar bentangan bebas (*freespan*) yang terjadi, maka pipa akan melendut (berdefleksi) dan proses tersebut mengarah pada kegagalan struktur.

Penelitian mengenai pengaruh lebar dan kedalaman *scouring* terhadap jaringan pipa bawah laut pernah dilakukan oleh Nugraha (2012). Dalam penelitian tersebut dianalisa lebar dan kedalaman *scouring* yang terjadi akibat adanya pipa. Selain itu dari dimensi *scouring* yang terjadi dapat ditentukan panjang *freespan* yang diijinkan akibat fenomena *scouring* sehingga pipa tidak mengalami osilasi.

Nugroho (2011), melakukan penelitian yang membahas analisa *scouring* pipa bawah laut milik Kodeco pada jalur Poleng-Gresik dengan variasi tipe tanah. Jalur pipa tersebut terdiri dari 5 zona berdasarkan tipe tanah dengan diameter butiran yang berbeda di setiap zona. Dari hasil penelitian yang dilakukan, diketahui daerah mana saja yang rawan terjadi *scouring*.

Westerhorstmann (1988) melakukan percobaan mengenai *scouring* untuk membuktikan adanya hubungan antara *pipe spacing* (jarak antar pipa) terhadap penggerusan pipa bawah laut di laboratorium. Percobaan tersebut menggunakan satu atau lebih pipa yang dipasang pada posisi tertentu dan mempunyai jarak di antaranya. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara jarak kedua pipa dengan kedalaman *scouring* yang dihasilkan. Pada kasus dua pipa dengan kondisi jarak lebih kecil akan menyebabkan *scouring* yang lebih sedikit, demikian pula sebaliknya.

Cheng, et al. (2014), dalam publikasinya yang berjudul *3D Scour Below Pipelines Under Waves And Combined Waves And Currents*, mempelajari perilaku *scouring* pada pipa *rigid* dalam kondisi gelombang dan kombinasi gelombang dan arus. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut didapatkan laju propagasi *scouring* setelah terjadi *initial scouring*. Laju propagasi *scouring* akan tetap konstan di bawah pengaruh gelombang. Selain itu, laju propagasi akan menurun seiring dengan meningkatnya kedalaman benam pipa yang diikuti naiknya angka Keulegan-Carpenter (KC).

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Scouring**

*Scouring* merupakan fenomena pergerakan dari butiran sedimen yang ada di dasar laut yang disebabkan oleh arus, gelombang atau kombinasi dari keduanya, dimana prosesnya sama dengan erosi (Kinsman, 1965). Peristiwa

tersebut dapat terjadi pada material tanah, lumpur maupun endapan, namun dapat juga terjadi pada dasar laut berbatu/berkarang dengan kondisi tertentu.

Ketika sebuah struktur dalam hal ini pipa diletakkan pada dasar laut yang berpasir dan terkena arus, keberadaannya akan mempengaruhi pola aliran di sekitarnya. Gaya yang mengenai pipa baik arus maupun gelombang akan menyebabkan perbedaan tekanan di bagian depan pipa (*upstream*) dengan bagian belakang pipa (*dowstream*). Tekanan akan mengalir dari yang tinggi di *upstream* menuju ke rendah di bagian *dowstream*. Gradien tekanan tersebut akan menimbulkan aliran rembesan (*seepage flow*) yang mengalir dari bawah pipa dan menggerus permukaan dasar laut yang berpasir. Seiring dengan kecepatan arus yang semakin meningkat, pada saat tertentu aliran rembesan (*seepage flow*) juga akan mengalami titik kritis dimana debit aliran akan terus meningkat dibandingkan dengan gradien tekanan. Sehingga rembesan akan menggerus tak hanya di bagian bawah pipa namun juga pada bagian *dowstream*. Hal itu mengapa mekanisme *scouring* dimulai dari bawah pipa, menggerus hingga *dowstream* menyebabkan sedimen terdeposisi dan menumpuk di belakang lubang *scour*. Proses tersebut lah yang dinamakan *piping*, yang lebih dikenal dengan mekanika tanah yang dapat menyebabkan kegagalan pada struktur tak hanya pada kasus pipa saja, tetapi juga pada semua struktur yang berada di bawah permukaan air. (Terzagi, 1948)

*Scouring* pada struktur lepas pantai yang berdiri tegak dapat mengakibatkan struktur tersebut mengalami *subsidence* sehingga gap antara dek dengan gelombang tertinggi yang didesain menjadi berkurang. Sedangkan jika terjadi pada struktur yang terdapat pada permukaan dasar laut seperti jaringan pipa bawah laut dapat mengakibatkan *freespan*. *Freespan* dapat terjadi ketika kontak antara pipa dan permukaan dasar laut hilang dan memiliki jarak. *Freespan* pada pipa dapat terjadi karena permukaan dasar laut yang tidak merata, perubahan kontur dasar laut akibat *scouring* atau *sand wave*, maupun adanya pertemuan jalur dengan pipa bawah laut lainnya.

*Scouring* akan menyebabkan penurunan kapasitas tahanan pasif tanah terhadap gaya lateral dan momen. Gerusan yang terjadi dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Gerusan Global, yaitu tipe gerusan yang terjadi pada keseluruhan lokasi struktur.
2. Gerusan Lokal, yaitu tipe gerusan yang pada umumnya terjadi di sekitar satu elemen struktur. Ada dua macam tipe gerusan lokal yang umum diketahui, yaitu :

- *Clear Water Scouring*

*Clear water scouring* terjadi pada kondisi dimana tidak ada material atau sedimen yang ikut terangkut oleh aliran air. Pada kondisi *clear water scouring* nilai  $\theta < \theta_{cr}$ .

- *Live Bed Scouring*

*Live bed scouring* terjadi pada kondisi dimana material atau sedimen yang berada di dasar laut ikut terangkut oleh aliran air. Pada kondisi ini berlaku nilai  $\theta > \theta_{cr}$ , dimana  $\theta$  adalah *Shields Parameter Number* yang didefinisikan sebagai berikut.

$$\theta = \frac{U_f}{g(s-1)d}, \quad s = \rho_s/\rho \dots \dots \dots (2.1)$$

dan,

$$U_f = \sqrt{\tau_{\infty}/\rho} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- $\tau_{\infty}$  = tegangan geser dasar untuk aliran *undisturbed*
- $s$  = *specific gravity* sedimen dasar
- $g$  = percepatan gravitasi
- $d$  = *grain size*

dan  $\theta_{cr}$  merupakan nilai kritis dari *Shields Parameter*.

Chiew (1997) menjelaskan bahwa untuk mendapatkan kedalaman *scouring* yang mendekati kondisi di lapangan, maka perhitungannya didasarkan pada kondisi *live bed*, yaitu kondisi yang memperhitungkan adanya *sediment transport* berupa deposisi.

Definisi gerusan lokal mengarah pada kasus penggerusan dua dimensi. Leeuwenstein (1985) mendefinisikan tiga macam tipe *scouring* berdasarkan posisi gerusan terhadap pipa, yaitu :

- *Luff scour*

*Luff scour* atau *luff erosion* terjadi pada *upstream* (bagian pipa yang berhadapan dengan arah datangnya aliran). *Scouring* dengan jenis ini tidak terlalu berpengaruh terhadap pembentukan *freespan*.

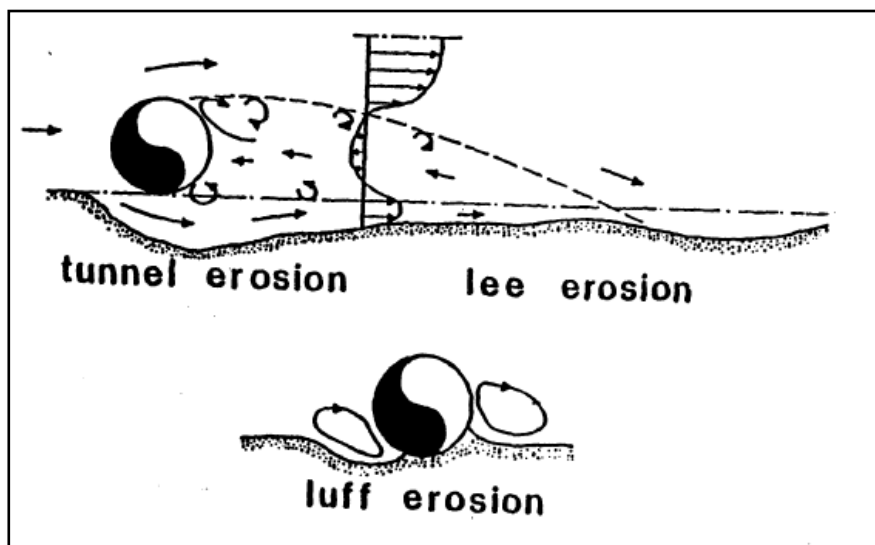
- *Lee wake scour*

*Lee wake scour* atau *lee wake erosion* terjadi pada bagian *downstream* (bagian pipa yang tidak berhadapan langsung dengan arah datangnya aliran) karena aliran yang melewati pipa menyebabkan terjadinya turbulensi pada bagian tersebut. *Lee wake scour* menjadi faktor utama terjadinya *scouring* di bawah pipa.

- *Tunnel scour*

*Tunnel scour* atau *tunnel erosion* terjadi di bawah pipa. Penggerusan *tunnel* merupakan tahap awal pembentukan lubang *scouring*, kemudian diikuti *lee erosion* yang akan menggerus bagian bawah pipa sehingga terbentuklah *freespan*.

Ilustrasi terjadinya gerusan *Luff*, *Lee wake*, dan *Tunnel* dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Jenis *scouring* pada pipa (Leeuwenstein, 1985)



### 2.2.2 Kedalaman *Scouring*

Formula untuk menghitung kedalaman *scouring* pada pipa bawah laut memiliki variasi dimana perhitungannya mengacu pada penyebab terjadinya *scouring*. Dalam bukunya yang berjudul *The Mechanics of Scour in the Marine Environment*, Sumer dan Fredsoe (2002) membagi kedalaman *scouring* menjadi 5 kelompok, yakni :

- Kedalaman *scouring* pada *steady currents*

Banyak ahli yang mencoba mempelajari kedalaman *scouring* melalui beberapa percobaan yang telah dilakukan. Kjeldsen (1973) adalah yang pertama kali menemukan formula hubungan empirik antara kedalaman *scouring* ( $S_d$ ), diameter pipa ( $D$ ), dan kecepatan arus efektif yang bekerja pada pipa ( $U$ ). Hubungan yang didapatkan antara ketiga parameter tersebut dinotasikan pada persamaan berikut ini.

$$S_d = 0.972 \left( \frac{U^2}{2g} \right)^{0.2} D^{0.8} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- $S_d$  = kedalaman *scouring* maksimum
- $U$  = kecepatan arus efektif yang bekerja pada pipa
- $g$  = percepatan gravitasi
- $D$  = diameter pipa

Persamaan 2.3 valid pada rentang  $9.84 \times 10^3 < Re_{\text{pipe}} < 2.05 \times 10^5$ . Formula tersebut kemudian disempurnakan lagi oleh Bijker dan Leeuwestein (1985). Persamaannya adalah

$$S_d = 0.929 \left( \frac{U^2}{2g} \right)^{0.26} D^{0.78} (d_{50})^{-0.04} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

- $d_{50}$  = diameter rata-rata butiran

- Kedalaman *scouring* pada gelombang reguler

Sumer dan Fredsoe (1990) menunjukkan adanya keterkaitan antara kedalaman relatif *scouring* ( $S/D$ ) dengan Keulegan-Carpenter Number (KC). Kedalaman *scouring* akan meningkat seiring dengan bertambahnya nilai KC. Hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$\frac{Sd}{D} = 0.1 \sqrt{KC} \dots\dots\dots (2.5)$$

Nilai KC didefinikan sebagai,

$$KC = \frac{U_m T}{D} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan,

- Sd            = kedalaman *scouring*
- KC            = Keulegan-Carpenter Number
- U<sub>m</sub>           = kecepatan orbital maksimum partikel pada kondisi *undisturbed*
- T             = periode gelombang
- D             = diameter pipa

Dari hasil penelitian yang dilakukan Sumer dan Fredsoe (1990) tersebut dapat disimpulkan bahwa parameter utama yang mempengaruhi kedalaman *scouring* untuk kondisi *live bed* adalah nilai KC di bawah pengaruh gelombang.

- Kedalaman *scouring* pada gelombang *irregular*

Sumer dan Fredsoe (1996) telah melakukan percobaan mengenai pengaruh *irregular* terhadap *scouring*. Pengukuran dilakukan di perairan *North Sea* dengan kondisi badai yang digunakan sebagai pengontrol spektrum untuk menghasilkan pembangkit gelombang atau biasa dikenal dengan spektrum JONSWAP.

$$\frac{S}{D} = 0.1 \sqrt{KC} = 0.1 \sqrt{\frac{U_m T_p}{D}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana T<sub>p</sub> adalah periode puncak dan U<sub>m</sub> didefinisikan sebagai

$$U_m = \sqrt{2\sigma_u} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana, U<sub>m</sub> adalah kecepatan orbital partikel, dan σ<sub>u</sub> adalah standar deviasi dari kecepatan orbital U pada *seabed*.

- Kedalaman *scouring* akibat kombinasi arus dan gelombang

Dalam penelitiannya, Sumer dan Fredsoe (1996) menjelaskan bahwa besar kecilnya kedalaman *scouring* tergantung pada nilai *Keulegan Carpenter* (KC) dan nilai perbandingan kecepatan arus dan gelombang  $\frac{U_c}{U_c+U_w}$  dimana  $U_c$  adalah *undisturbed current velocity* pada titik tengah diameter pipa, sedangkan  $U_w$  adalah kecepatan orbital partikel gelombang. Dari penelitian tersebut, dihasilkan persamaan untuk menghitung kedalaman *scouring* akibat kombinasi gelombang dan arus sebagai berikut.

$$\frac{S_d}{D} = \frac{S_{d_{cur}}}{D} F \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana  $S_{d_{cur}}$  adalah kedalaman *scouring* pada kondisi gaya penyebab *scouring* adalah gaya arus saja, sedangkan  $F$  adalah fungsi dari *Keulegan-Carpenter Number* (KC) dan  $\frac{U_c}{U_c+U_w}$ . Hubungan ketiga variabel tersebut dapat dilihat pada persamaan di bawah ini.

- Untuk  $0 < \frac{U_c}{U_c+U_w} \leq 0.7$

$$F = \frac{5}{3} (KC)^a \exp(2.3b) \dots\dots\dots(2.10)$$

- Untuk  $0.7 < \frac{U_c}{U_c+U_w} \leq 1$

$$F = 1 \dots\dots\dots(2.11)$$

Koefisien  $a$  dan  $b$  pada persamaan (2.10) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

- Untuk  $0 \leq \frac{U_c}{U_c+U_w} \leq 0.4$  :

$$a = 0.557 - 0.912 \left( \frac{U_c}{U_c+U_w} - 0.25 \right)^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

$$b = -1.14 + 2.24 \left( \frac{U_c}{U_c+U_w} - 0.25 \right)^2 \dots\dots\dots(2.13)$$

- Untuk  $0.4 \leq \frac{U_c}{U_c+U_w} \leq 0.7$  :

$$a = -2.14 \frac{U_c}{U_c+U_w} + 1.46 \dots\dots\dots(2.14)$$

$$b = 3.3 \frac{U_c}{U_c+U_w} - 2.5 \dots\dots\dots(2.15)$$

- Kedalaman *scouring* pada kondisi pendangkalan (*shoaling*)

Cevik dan Yuksel (1999) dalam publikasinya yang berjudul *Scour Below Submarine Pipelines Under Irregular Wave Attack*, telah menyelidiki penggerusan di bawah pipa bawah laut pada kondisi area yang mengalami pendangkalan (*shoaling*) untuk aliran gelombang reguler menggunakan empat buah pipa yang berbeda. Dalam jurnal tersebut dijelaskan bahwa kedalaman *scouring* pada kasus terjadi pendangkalan adalah lebih besar dibandingkan dengan dasar laut yang datar pada perlakuan kondisi gelombang yang sama. Penelitian dilakukan pada dasar laut dengan kemiringan 1/5 dan 1/10, serta dasar laut yang datar. Kedalaman *scouring* yang dihasilkan dari penelitian tersebut menghasilkan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{S}{D} = 0.11 KC^{0.45} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dalam Etemad-Shahidi et al. (2010) dijelaskan mengenai prediksi kedalaman *scouring* maksimum dalam fungsi gap (E). Eksperimen yang dilakukan melibatkan 3 buah model pipa pada kondisi *live bed*. Persamaan yang dihasilkan antara lain.

$$\frac{S}{D} = 0.024 KC^{0.763} \exp\left(-0.631 \frac{e}{D}\right) \quad \text{for } \frac{e}{D} > 0.145 \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\frac{S}{D} = 0.105 KC^{0.503} \exp\left(-0.284 \frac{e}{D}\right) \quad \text{for } \frac{e}{D} \leq 0.145 \dots\dots\dots(2.18)$$

### 2.2.3 Lebar *Scouring*

Sumer dan Fredsoe (1990) telah mempelajari lebar span yang terjadi akibat *scouring*. Dari percobaannya tersebut didapatkan formula empirik sebagai berikut.

$$\frac{w}{D} = 0.35 KC^{0.65} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana w adalah lebar *scouring* yang dihitung dari diameter tengah pipa sampai kedalaman maksimum *scouring* di bawah pipa.

### 2.2.4 Laju Propagasi *Scouring*

Mao (1986) mengembangkan riset mengenai profil lubang *scour* dan menemukan formula sebagai berikut.

$$h(x) = \begin{cases} \epsilon + \frac{D}{2} + \frac{S_d}{2} (1 + \cos(2\pi \frac{x}{w})) & \text{for } |x| < \frac{w}{2} \\ \epsilon + \frac{D}{2} & \text{for } |x| > \frac{w}{2} \end{cases} \dots(2.20)$$

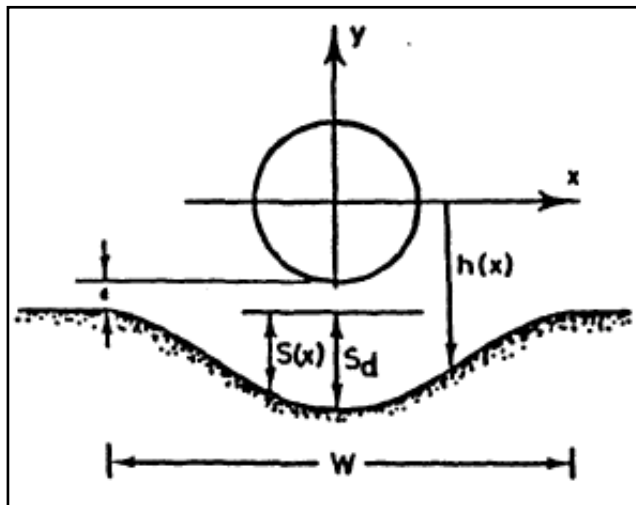
Dimana :

$h(x)$  = jarak vertikal dari titik tengah diameter pipa hingga bagian bawah lubang *scour*

$w$  = lebar *scour*

$\epsilon$  = jarak antara pipa dan dasar laut

Dari persamaan tersebut akan diperoleh profil kedalaman dan lebar *scour* pada jarak horizontal sepanjang  $x$  (gambar 2.2).



**Gambar 2.2** Profil 2D Lubang *Scour* (Mao, 1986)

### 2.2.5 Periode *Scouring* (Time scale)

Proses penggerusan menuju tahap kesetimbangan atau hingga mencapai kedalaman *scouring* maksimum pada gambar 2.2 terjadi secara berkala. Dengan pendekatan matematis yang diperoleh dari eksperimen Sumer & Fredsoe (2002) dapat diketahui laju penggerusan yang terjadi pada saat  $t$  tertentu dengan menggunakan persamaan 2.19.

$$S_t = S \left( 1 - \exp \left( -\frac{t}{T} \right) \right) \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana S merupakan kedalaman *scouring* maksimum, t adalah waktu yang ditinjau, dan T didefinisikan sebagai *time scale*.

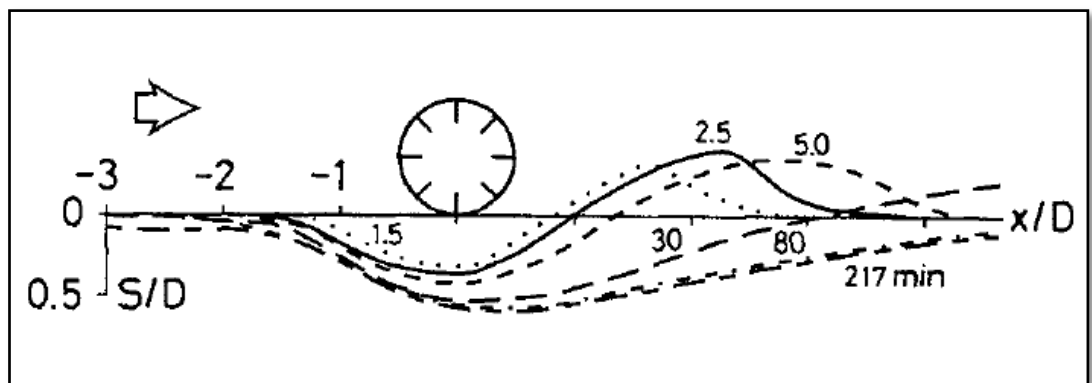
Menurut, Cheng, et al (2014), pada kondisi kombinasi arus dan gelombang, T dapat ditentukan dengan persamaan 2.23 yang sebelumnya harus ditentukan *non-dimensional time scale* menggunakan persamaan 2.22.

$$T^* = \frac{1}{50} \left( (1 - m)\theta_w + m\theta_c \right)^{-5/3} \dots \dots \dots (2.22)$$

$$T = \frac{D^2}{(g(s-1)d_{50}^3)^{1/2}} T^* \dots \dots \dots (2.23)$$

Dimana, m adalah kecepatan efektif antara arus dan gelombang yang ditetapkan sebagai  $\frac{U_c}{U_c + U_w}$ ,  $\theta_w$  dan  $\theta_c$  dapat diperoleh dari persamaan 2.1.

Dari gambar 2.2, yang merupakan profil 2D lubang *scour* fungsi (x), apabila diperhitungkan dengan fungsi *time scale scouring* sebagai fungsi (x) dan (t), akan menghasilkan laju propagasi *time scale scouring* yang apabila diubah kedalam bentuk grafik akan menghasilkan gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Laju Propagasi *Scouring* (dalam menit) (Mao, 1986)

### 2.2.6 Perhitungan Properti Gelombang

Panjang dan tinggi gelombang mula-mula diperoleh dari persamaan berikut ini (Triatmodjo, 1999) :

$$L_0 = 1,56 T^2 \dots\dots\dots(2.24)$$

$$H = K_s H_0 \dots\dots\dots(2.25)$$

Menurut Triatmodjo (1999), panjang gelombang sebagai fungsi dari kedalaman untuk teori gelombang Stokes Orde 2 diperoleh dari iterasi persamaan berikut :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L_0} \dots\dots\dots(2.26)$$

Sedangkan untuk teori gelombang Stokes Orde 3 dirumuskan sebagai berikut :

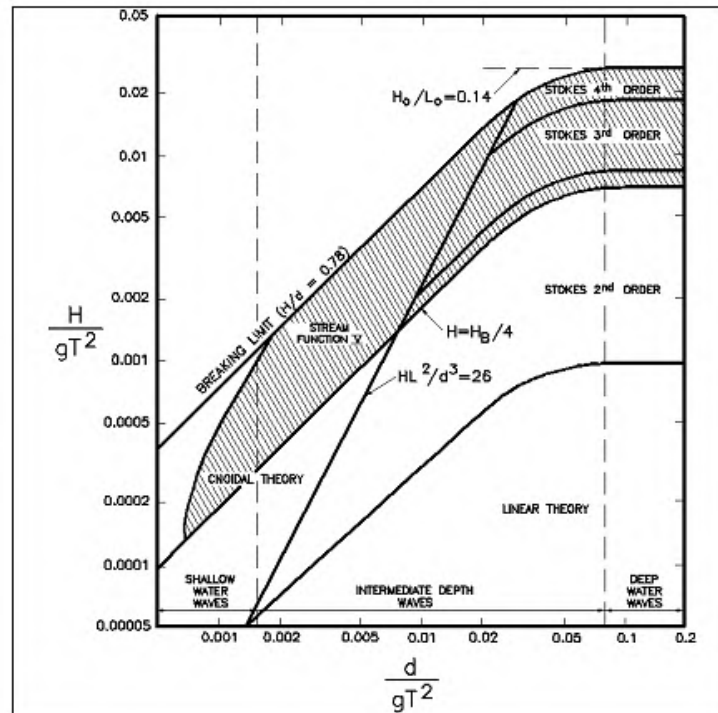
$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd \left\{ 1 + \left( \frac{2\pi a}{L} \right)^2 \left[ \frac{14+4 \cosh^2 2kd}{16 \sinh^4 kd} \right] \right\} \dots\dots\dots(2.27)$$

### 2.2.5 Teori Gelombang

Mousselli (1981) menyatakan bahwa teori gelombang yang akan digunakan dalam perancangan dapat ditentukan dengan menggunakan formulasi matematika dari teori gelombang linier sebagai berikut :

$$\left[ \frac{H}{gT^2} \right] \text{ dan } \left[ \frac{d}{gT^2} \right] \dots\dots\dots(2.28)$$

Hasil dari formula di atas kemudian disesuaikan dengan grafik *Regions of Validity of Wave Theories*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, sehingga dapat diketahui teori gelombang yang akan digunakan.



**Gambar 2.4** Grafik *Regions of Validity of Wave Theories* (Mousselli, 1981)

### 1.) Teori Gelombang Stokes Orde 2

Teori gelombang Stokes Orde 2 merupakan teori gelombang amplitudo berhingga, untuk itu harus diperhatikan besaran-besaran yang berorde lebih tinggi. Jika pada teori gelombang Airy (linier) hanya memperhatikan suku pertama dari ruas kanan, maka pada teori gelombang Stokes Orde 2 diperhitungkan dua suku pertamanya. Stokes mengembangkan teori orde kedua ini untuk gelombang yang memiliki tinggi gelombang kecil tetapi berhingga (Triatmodjo, 1999). Persamaan untuk kecepatan partikel air pada teori gelombang Stokes Orde 2, yaitu :

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cos h ks}{\sin kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left( \frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{L} \frac{\cos 2ks}{\sin h^4 kd} \cos 2\theta \dots \dots \dots (2.29)$$

Sedangkan persamaan untuk percepatan partikel air adalah :

$$\frac{du}{dt} = \frac{2\pi^2 H}{T} \frac{\cos h ks}{\sin kd} \sin \theta + \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left( \frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2ks}{\sin h^4 kd} \sin 2\theta \dots \dots \dots (2.30)$$

Nilai s dan k pada persamaan teori gelombang Stokes Orde 2 diketahui dari



$$S = d + y \dots\dots\dots(2.31)$$

$$k = \frac{2\pi}{L} \dots\dots\dots(2.32)$$

Dengan,

- d = kedalaman laut (m)
- k = angka gelombang
- H = tinggi gelombang pada kedalaman yang ditinjau (m)
- T = periode gelombang (sec)
- C = cepat rambat gelombang (m/sec)
- s = jarak vertikal titik yang ditinjau dari dasar laut (m)
- y = jarak vertikal suatu titik yang ditinjau terhadap *still water level* (m)
- L = panjang gelombang pada kedalaman yang ditinjau (m)
- g = percepatan grafitasi (m/sec<sup>2</sup>)
- θ = sudut fase

## 2.) Teori Gelombang Stokes Orde 3

Persamaan kecepatan partikel gelombang pada arah horizontal untuk teori gelombang Stokes Orde 3, yaitu :

$$u = C (F_1 \cosh kS \cos \theta + F_2 \cosh 2kS \cos 2\theta + F_3 \cosh 3kS \cos 3\theta) \dots\dots\dots(2.33)$$

Sedangkan untuk percepatan gelombang arah horizontal adalah

$$\frac{du}{dt} = \frac{2\pi C}{T} (F_1 \cosh kS \cos \theta + F_2 \cosh 2kS \cos 2\theta + F_3 \cosh 3kS \cos 3\theta) \dots\dots\dots(2.34)$$

Dengan :

$$C = \frac{L}{T} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$F_1 = \frac{ka}{\sinh kd} - (ka)^2 \frac{\cosh^2 kd (1+5 \cosh^2 kd)}{8 \sinh^5 kd} \dots\dots\dots(2.36)$$

$$F_2 = \frac{3}{4} (ka)^2 \frac{1}{\sinh^4 kd} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$F_3 = \frac{3}{64} (ka)^3 \frac{11-2 \cosh 2kd}{\sinh^7 kd} \dots\dots\dots(2.38)$$

Nilai s dan k pada persamaan teori gelombang Stokes Orde 3 diketahui dari persamaan (2.31) dan (2.32)

### 2.2.7 Kecepatan Efektif Partikel Air

*Scouring* dapat terjadi akibat adanya pengaruh arus dan gelombang. Dalam melakukan perhitungan kedalaman *scouring* perlu memperhitungkan beberapa variabel salah satunya adalah kecepatan efektif partikel. Kecepatan efektif partikel yang digunakan adalah gabungan antara kecepatan arus akibat gelombang dan kecepatan arus *steady*, yang dinyatakan dalam persamaan berikut ini.

$$U_e = U_w + U_a \dots\dots\dots(2.39)$$

Keterangan,

- $U_e$  = kecepatan efektif partikel air pada ketinggian  $y_0$  (m/s)
- $U_w$  = kecepatan partikel air akibat gelombang (m/s)
- $U_a$  = kecepatan arus *steady* (m/s)

### 2.2.8 Bahasa Pemrograman

Paradigma mengenai belajar pemrograman tidak sama dengan belajar bahasa pemrograman. Belajar pemrograman adalah mempelajari bagaimana menyusun strategi pemecahan masalah, metodologi dan sistematika pemecahan masalah tersebut untuk kemudian dituangkan ke dalam suatu notasi yang telah disepakati bersama. Belajar memprogram lebih bersifat pemasahan terhadap persoalan, analitis, dan sintesis. Belajar bahasa pemrograman adalah belajar bagaimana memakai suatu bahasa, aturan sintaks (tata bahasa), serta setiap instruksi yang ada dan tata cara pengoperasian kompilator bahasa yang bersangkutan pada mesin tertentu.

Bahasa pemrograman merupakan teknik komunikasi standar untuk mengekspresikan instruksi kepada komputer. Seperti bahasa yang digunakan oleh manusia, setiap bahasa memiliki aturan tata tulis tertentu. Bahasa pemrograman memfasilitasi seorang *programmer* bagaimana komputer dapat melakukan pekerjaan sesuai perintah sintaks bahasa pemrograman, untuk selanjutnya data tersebut dapat disimpan dan dikirim, dan apa yang dilakukan apabila dimasukkan perintah yang variatif. (Sudarma, 2012)

Bahasa pemrograman yang kita ketahui digunakan untuk membuat suatu program komputer berbasis numerik. Keluaran dari bahasa pemrograman yang diolah menggunakan komputer dapat berupa perangkat lunak (*software*) sistem operasi maupun perangkat lunak (*software*) aplikasi. (Hamid et al, 2007)

Berdasarkan tingkat kemudahannya dipahami oleh manusia, bahasa pemrograman dikategorikan menjadi tiga, yaitu :

1. Bahasa pemrograman tingkat tinggi

Merupakan bahasa tingkat tinggi yang mempunyai ciri-ciri mudah dimengerti karena kedekatannya terhadap bahasa manusia sehari-hari. Sebuah pernyataan program diterjemahkan kepada sebuah atau beberapa mesin dengan menggunakan *compiler*. Contoh dari bahasa pemrograman tingkat tinggi adalah JAV, C++, NET.

2. Bahasa pemrograman tingkat menengah

Pada pemrograman bahasa tingkat menengah, instruksi telah mendekati bahasa sehari-hari, walaupun masih cukup sulit untuk dimengerti karena menggunakan singkatan-singkatan seperti *STO* yang berarti simpan (*STORE*) dan *MOV* yang artinya pindah (*MOVE*). Yang tergolong kedalam bahasa ini adalah *Fortran*, *Basic*, *Cobol*, *Pascal*, dan *Delphi*.

3. Bahasa pemrograman tingkat rendah

Merupakan bahasa pemrograman yang berada pada tingkat/generasi pertama. Bahasa jenis ini sangat sulit dimengerti karena instruksinya menggunakan bahasa mesin. Disebut juga dengan bahasa *assembly* yang merupakan bahasa dengan pemetaan satu per satu terhadap

instruksi komputer. Setiap instruksi *assembly* diterjemahkan dengan *assembler*.

Selain dibagi berdasarkan tingkat kesulitan untuk memahami program, *software* bahasa pemrograman juga dibagi menjadi 2, yaitu bahasa pemrograman prosedural (*procedural language*) dan bahasa pemrograman berorientasi objek (*object oriented programming language*). Yang termasuk bahasa pemrograman prosedural contohnya adalah bahasa Pascal dan BASIC, sedangkan contoh pemrograman yang berorientasi objek adalah C++. (Hamid et al, 2007). Untuk keperluan pengerjaan tugas akhir ini akan difokuskan pada tiga jenis bahasa pemrograman, yaitu *Fortran*, *Matlab*, dan *Scilab*. Pemilihan bahasa pemrograman didasarkan pada tingkat kesulitan dan lamanya penyusunan dari sub-sub program yang terkait. Salah satu dari ketiga bahasa pemrograman tersebut kemudian dapat disusun menjadi pemodelan numerik yang menghasilkan profil dua dimensi *scouring* dengan variasi *gap/clearance* pipa terhadap dasar laut dan pada kondisi tipe gelombang yang juga dapat divariasikan.

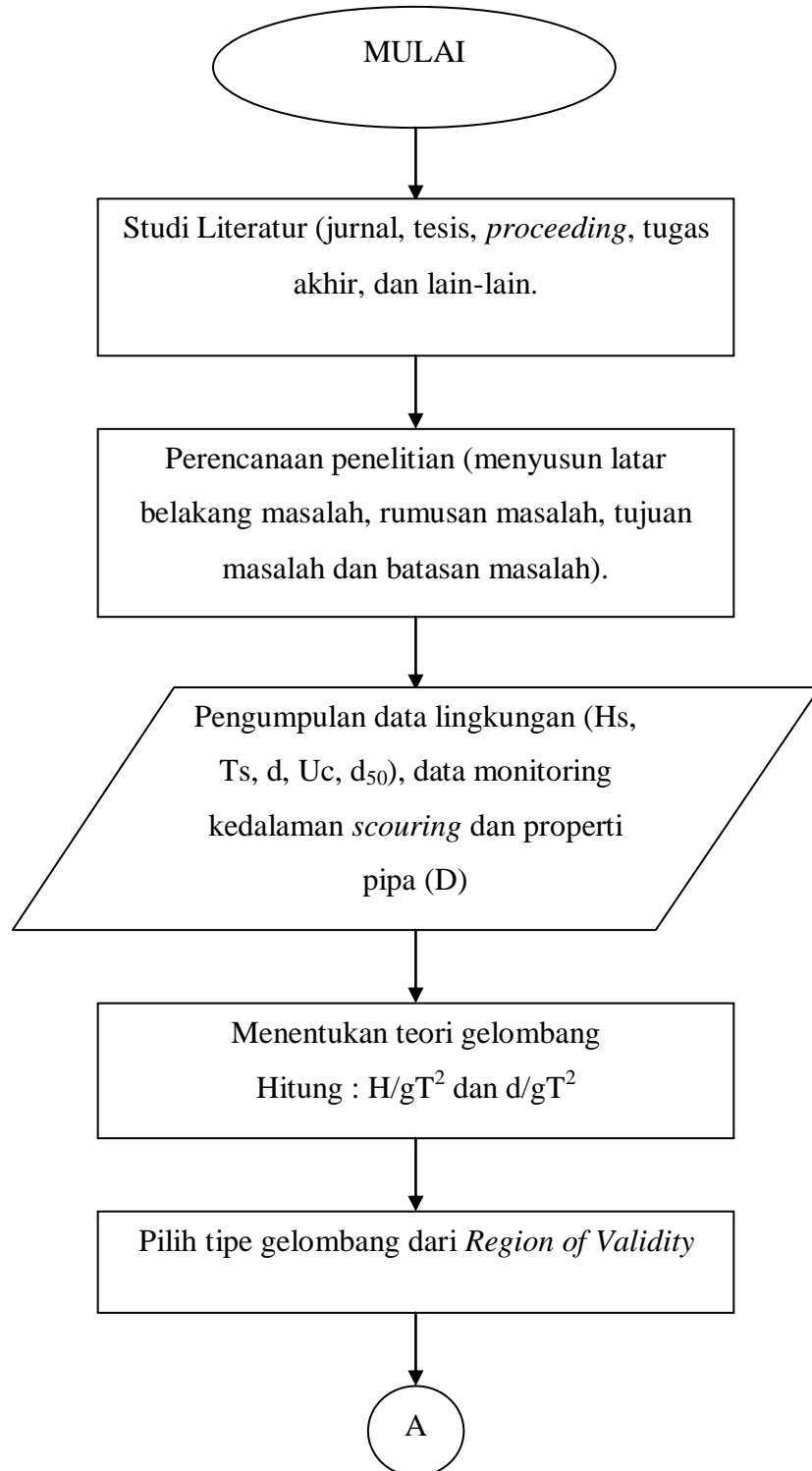
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

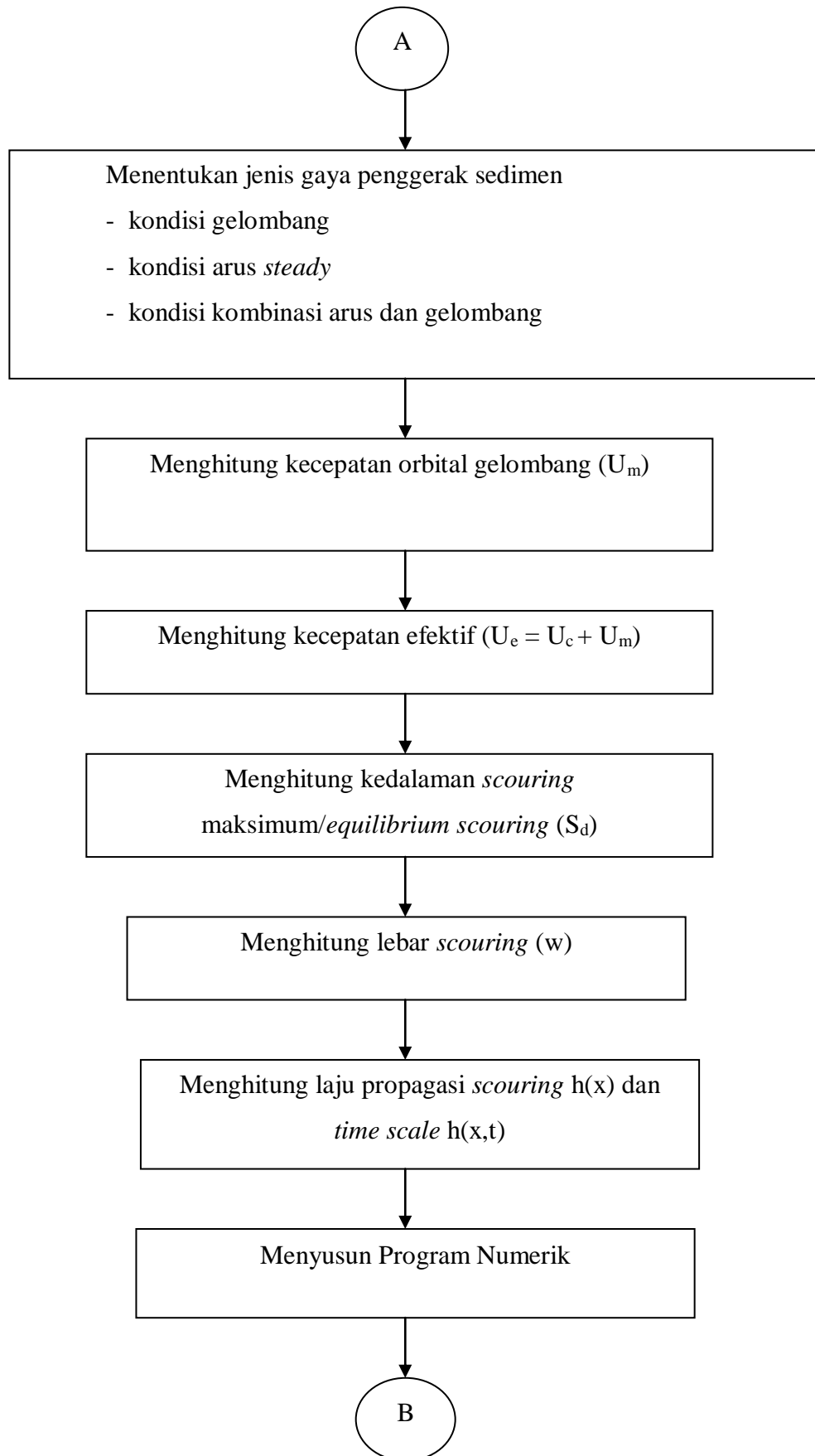
## BAB III

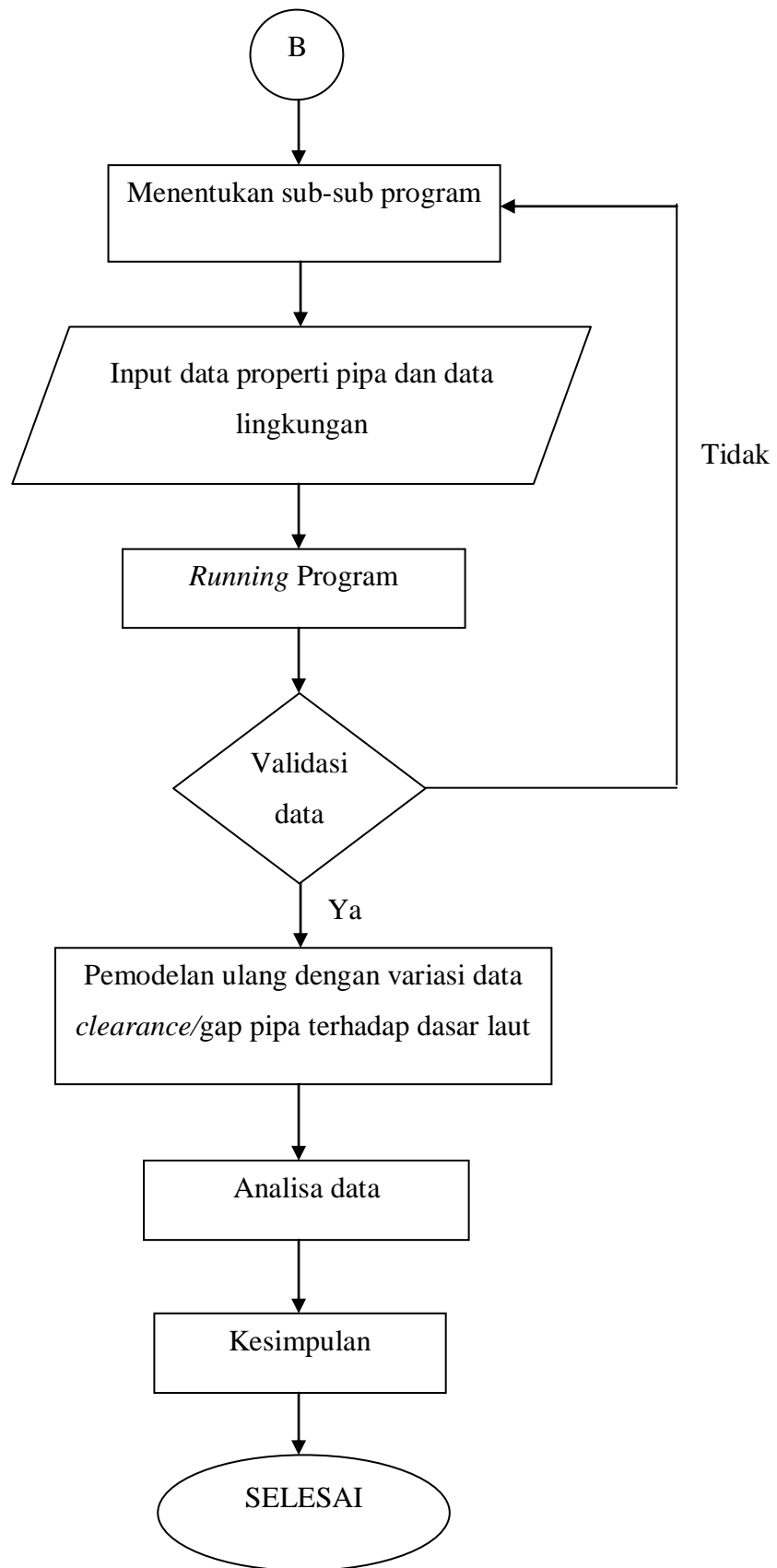
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir

Metode penelitian pada Tugas Akhir ini dijelaskan melalui diagram alir (*flow chart*) yang ditunjukkan pada gambar 3.1.







**Gambar 3.1** Diagram Alir Prosedur Pengerjaan Tugas Akhir



## **1.2 Metodologi Penelitian**

Dalam penelitian ini, alur atau tahapan dalam melakukan analisa mengacu pada metodologi penelitian. Adapun metodologi penelitian yang disusun terdiri dari beberapa tahapan, antara lain :

### **1.2.1 Studi Literatur**

Pada tahapan ini penulis mengumpulkan berbagai bahan yang bisa dijadikan referensi dan bahan rujukan. Informasi mengenai perhitungan kedalaman dan lebar *scouring* diperoleh dari jurnal-jurnal, penelitian tugas akhir dan tesis, serta buku-buku dan sumber lainnya yang membahas kasus serupa. Selain itu, juga mempelajari cara mengoperasikan *Compact Visual Fortran* sebagai salah satu bahasa pemrograman yang dipakai untuk membuat pemodelan numerik dari *scouring* yang dipengaruhi adanya pipa bawah laut.

### **1.2.2 Perumusan Masalah**

Dari studi literatur yang telah dilakukan, dapat dicari karakteristik *scouring* dari hasil percobaan yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Beberapa permasalahan yang belum dibahas dalam penelitian dapat diangkat menjadi topik bahasan pada penulisan tugas akhir ini.

### **3.3.3 Pengumpulan Data**

Selanjutnya, pengumpulan data-data yang dibutuhkan untuk keperluan penelitian dapat dicari melalui sumber referensi atau instansi terkait. Pada penelitian kali ini, data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Perusahaan Gas Negara (PGN). Data-data yang digunakan terdiri atas :

1. Data pipa bawah laut, yang meliputi :
  - Diameter pipa
  - Panjang pipa
  - Lokasi *Kilometer Point* (KP) pipa meletak
2. Data lingkungan, yang meliputi :
  - Data kedalaman perairan tempat pipa meletak
  - Kontur batimetri dasar laut sepanjang pipa yang akan ditinjau
  - Kecepatan arus

- Tinggi dan periode gelombang
3. Data perhitungan *scouring* pipa bawah laut PT. PGN, yang meliputi :
- Data kedalaman *scouring* pada KP tertentu berdasarkan monitoring *scouring* menggunakan ROV yang dilakukan oleh pihak PT. PGN.

### 3.3.4 Pengolahan Data

Berdasarkan data-data tersebut, dapat dilakukan beberapa perhitungan yang meliputi :

#### 1. Analisa kedalaman *scouring*

Analisa ini digunakan untuk mendapatkan kedalaman yang dihasilkan akibat fenomena *scouring* pada pipa bawah laut. Analisa *scouring* yang dipakai merupakan analisa 2D. Formula untuk menghitung kedalaman *scouring* ditentukan berdasarkan tipe gaya penggerak sedimen, yaitu kombinasi arus dan gelombang.

#### 2. Analisa lebar *scouring*

Analisa lebar *scouring* digunakan untuk mengetahui seberapa besar penjararan *scouring* pada pipa bawah laut. Lebar *scour* dipengaruhi oleh variabel kedalaman dimana pipa bawah air diletakkan. Sehingga data kedalaman pipa terhadap muka air laut sangat diperlukan.

#### 3. Analisa laju perambatan/propagasi *scouring*

Pada mulanya, *scouring* terbentuk ketika terdapat *onset scour*. Selanjutnya, kecepatan aliran akan mempengaruhi baik lebar maupun kedalaman *scouring*. Laju perambatan/propagasi *scouring* dilakukan untuk mengetahui karakteristik profil gerusan terhadap pipa hingga mencapai tahap dimana kedalaman maksimum (*equilibrium scour depth*) pada jaringan pipa terpenuhi.

#### 4. Analisa *Time Scale Scouring*

Laju propagasi *scouring* akan terjadi secara berkala hingga mencapai tahap kesetimbangan. Dalam hal ini akan dilakukan analisa *time scale scouring* untuk mengetahui proses perkembangan pembentukan

lubang *scour* pada waktu tertentu sampai tidak terjadi penggerusan lagi.

### **3.3.5 Pemrograman Numerik**

Setelah perhitungan secara manual dilakukan, dengan mengacu pada tahapan analisa yang dijabarkan melalui *flow chart*, maka dilakukan analisa numerik untuk membuktikan keterkaitan adanya pipa bawah laut terhadap fenomena *scouring* yang terjadi. Dengan memasukkan variabel dan konstanta program, yaitu berdasarkan data dimensi pipa ( $D$ ) dan data lingkungan, seperti data kecepatan arus, ( $U_c$ ), tinggi gelombang, ( $H$ ), periode gelombang, ( $T$ ), kedalaman pipa, ( $d$ ), program disusun di dalam bahasa pemrograman. Setelah penyusunan program memenuhi, maka akan didapatkan *output* dalam bentuk numerik. Hasil pemodelan numerik dapat diterjemahkan menjadi data grafik yang menunjukkan profil 2D dari *scouring*.

### **3.3.6 Analisa Data**

Penelitian ini akan menghasilkan nilai kedalaman dan lebar *scouring*, yang merupakan dimensi dari *scouring* itu sendiri. Data yang diperoleh kemudian dapat dianalisa sehingga dapat ditarik kesimpulan dari topik yang dibahas. Beberapa analisa yang dibahas adalah mengenai parameter-parameter yang mempengaruhi nilai kedalaman *scouring*.

### **3.3.7 Kesimpulan dan Saran**

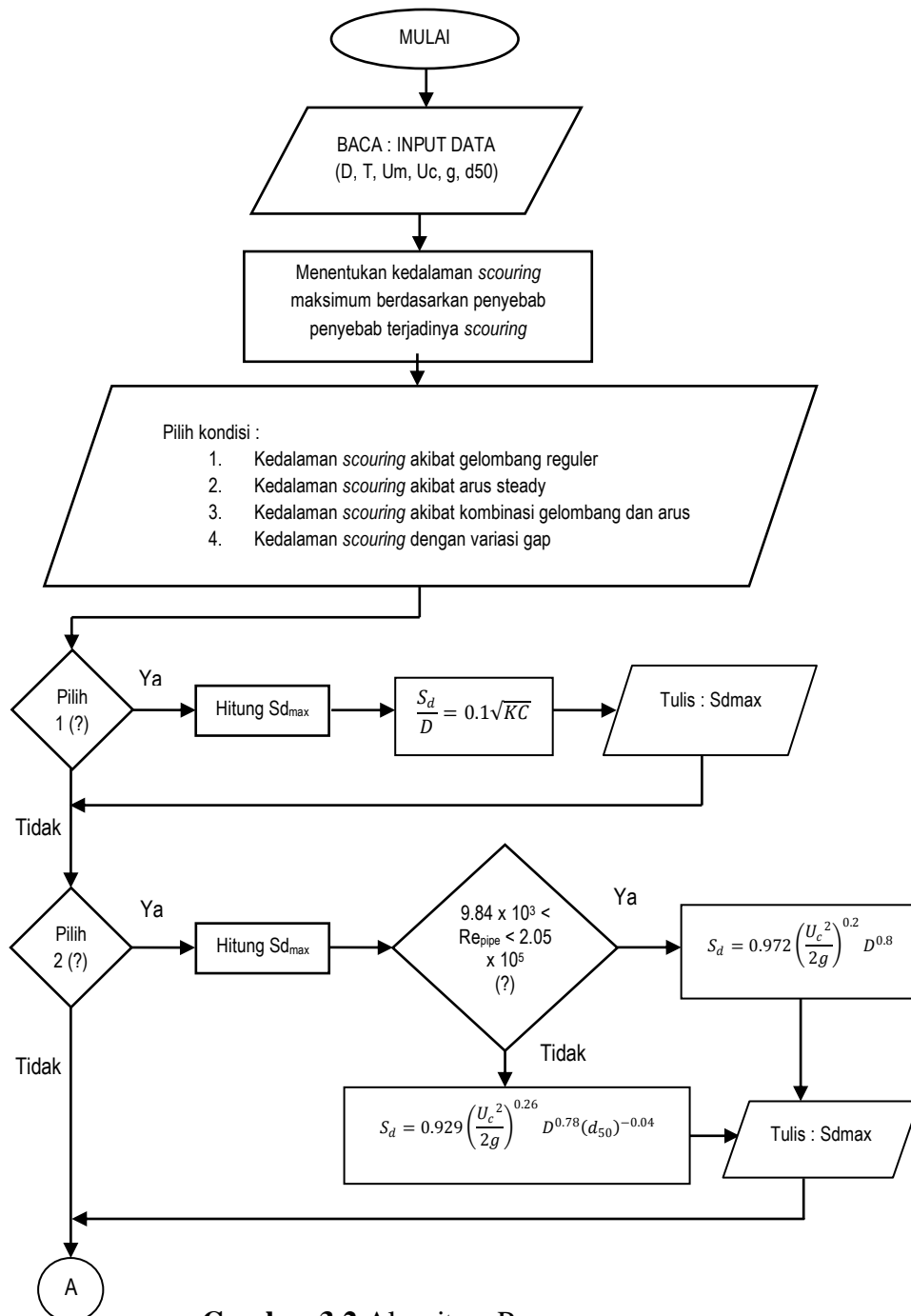
Hasil analisa akan disajikan dalam bentuk grafik dan hasil analisa numerik pada bahasa pemrograman agar dapat dibuat sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

### **3.3.8 Penyusunan Laporan**

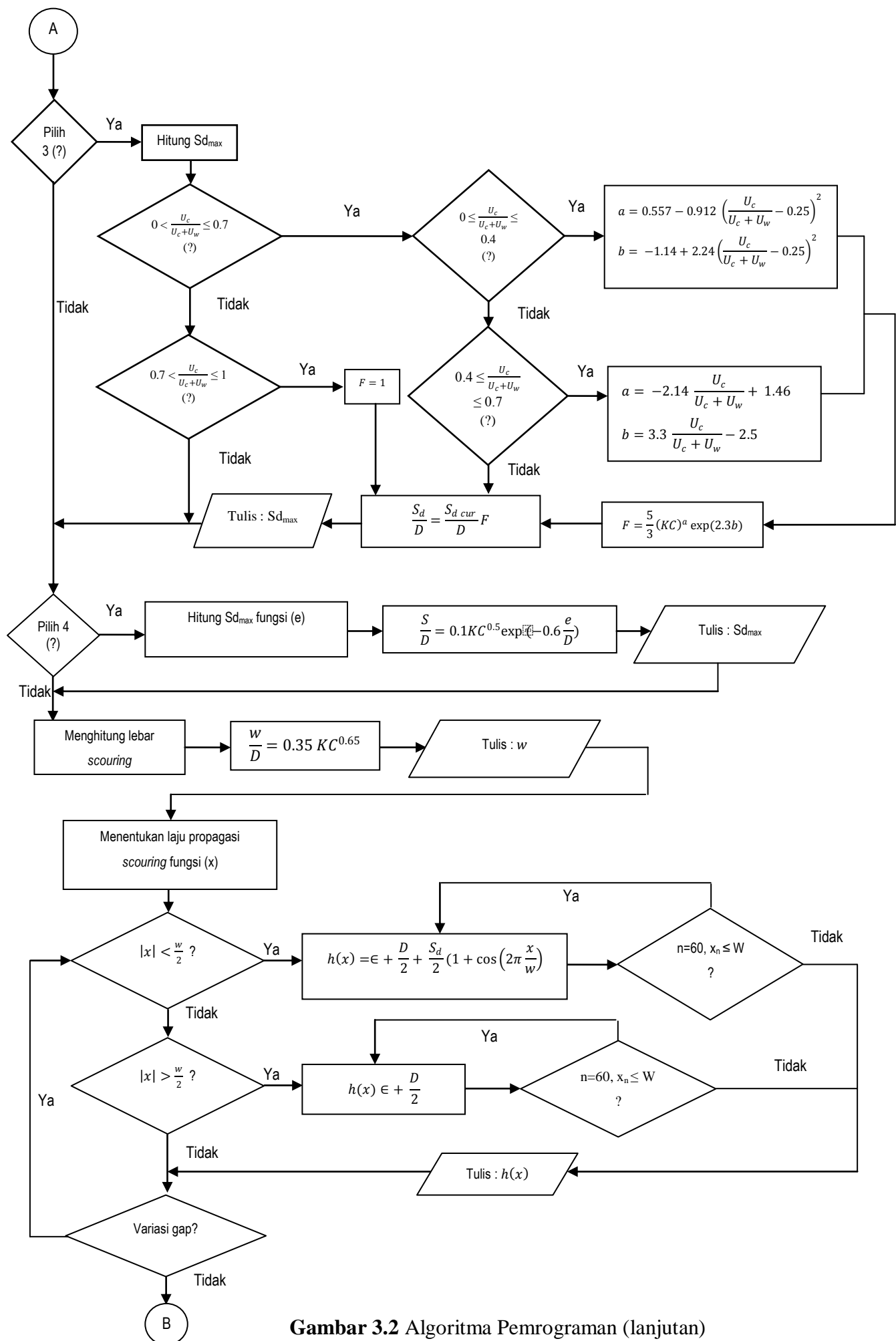
Penulisan laporan meliputi penulisan mulai dari awal (latar belakang, tujuan, dan sebagainya) sampai saran dan kesimpulan dari hasil analisa yang telah dilakukan serta pemberian saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

### 3.3 Algoritma Pemrograman

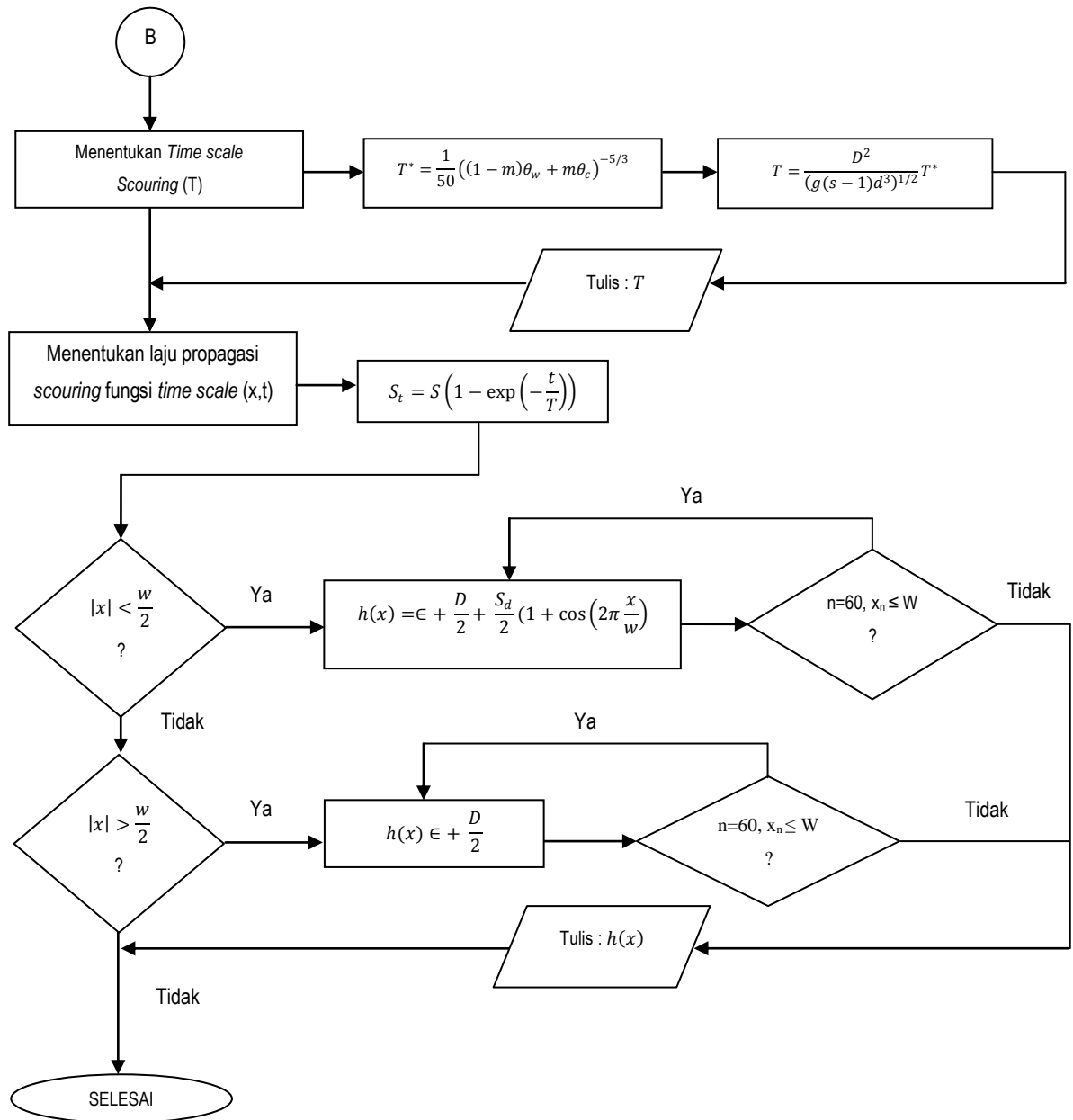
Pemrograman pada Tugas Akhir ini menggunakan *Compact Visual Fortran* yang disusun berdasarkan format penulisan/sintaks. Penulisan sintaks pada program disesuaikan dengan susunan algoritma. Algoritma pemrograman merupakan suatu *flow chart* yang menunjukkan urutan perintah beserta alternatifnya yang harus dituliskan dalam bahasa pemrograman. Program untuk menghitung kedalaman, lebar dan laju propagasi *scouring* ini bernama Scour.FOR. Algoritma pada program Scour.FOR dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini.



**Gambar 3.2** Algoritma Pemrograman



**Gambar 3.2** Algoritma Pemrograman (lanjutan)



**Gambar 3.2** Algoritma Pemrograman (lanjutan)

Formula untuk menghitung kedalaman *scouring* terdiri atas 4 alternatif atau pilihan. Berdasarkan kondisi penyebab terjadinya, pada algoritma program Scour.FOR yang ditunjukkan pada gambar 4.3, kedalaman *scouring* dibagi menjadi 3, yaitu kedalaman *scouring* akibat gelombang reguler, arus *steady*, dan kombinasi gelombang dan arus. Kedalaman *scouring* akibat gelombang reguler, arus dan kombinasi gelombang dan arus secara berurutan menggunakan opsi nomor 1, 2, dan 3. Opsi 4 digunakan untuk menghitung kedalaman *scouring* akibat adanya jarak/gap antara pipa dengan dasar laut. Perhitungan kedalaman

*scouring* pada kondisi arus disesuaikan dengan kondisi pipa yang diberikan, yaitu pada ketentuan *Reynold-Number*. Begitu pula pada kondisi kombinasi antara gelombang dan arus, perhitungan disesuaikan dengan kecepatan efektif ( $U_e$ ) yang dinyatakan dalam  $\frac{U_c}{U_c+U_m}$  untuk mencari faktor pengali F dengan  $Sd_{\max}$  *current*. Setelah itu, dapat dihitung lebar *scouring* dengan persamaan yang diberikan. Dalam hal ini, persamaan lebar *scouring* berlaku untuk semua kondisi. Hasil yang diperoleh dari perhitungan kedalaman dan lebar *scouring* dapat dilihat pada analisa dan pembahasan.

Untuk mengetahui bagaimana sketsa lubang scour yang dihasilkan, maka dapat dilakukan perhitungan laju propagasi *scouring*. Sketsa atau profil keluaran dari program merupakan bentuk 2D dengan dimensi panjang dan tinggi. Sepanjang lebar *scouring* (w) akan dibagi menjadi beberapa pias (n). Dalam kasus ini pias yang digunakan mencapai 60 pias. Tujuan dari pembagian pias-pias tersebut adalah untuk menentukan titik-titik ordinat yang jika digabungkan akan menjadi sebuah sketsa lubang scour. Hasil pemodelan dari program Scour.FOR dapat dilihat pada pembahasan profil 2D *scouring*.

Dalam perkembangannya menuju titik kesetimbangan, *scouring* berjalan secara berangsur-angsur dengan periode tertentu hingga mencapai kedalaman *scouring* maksimum. Dalam program ini, St yang merupakan kedalaman *scouring* fungsi *time scale* (x,t) memperlihatkan profil 2D lubang scour dari waktu  $t=0$ , dimana initial *scouring* belum terjadi, hingga  $t=equilibrium$  dimana kedalaman *scouring* maksimum telah tercapai. Hal tersebut dapat mempermudah kita untuk melihat sketsa proses penggerusan. Hasil pemodelan kedalaman *scouring* dengan *time scale* dapat dilihat pada analisa *time scale*.

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisa Data Lingkungan

Data yang digunakan sebagai studi kasus dalam Tugas Akhir ini diperoleh dari PT. Perusahaan Gas Negara (PGN) yang bertanggung jawab dalam kegiatan perancangan dan pemasangan pipa gas transmisi SSWJ (*South Sumatera-West Java*) berdiameter 32 inch, yang menghubungkan Labuhan Maringgai (Sumatera Selatan) dan Muara Bekasi (Jawa Barat). Pipa bawah laut SSWJ digolongkan menjadi beberapa zona sesuai *kilometer point* (KP) dan kondisi lingkungan. Pembagian data pipa sesuai dengan KP dan zona data lingkungan dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Kedalaman Air Pada Zona Lokasi Pipa Bawah Laut

No.	Environmental Zones	KP from	KP to	min depth (m)	max depth (m)
1	1	0	10	0.00	8.50
2	2	10	29	9.00	26.50
3	3	29	48	22.50	50.50
4	4	48	59	45.50	59.00
5	9	59	73	51.00	63.50
6	10	73	86	42.50	60.80
7	11	86	99	33.50	45.50
8	12	99	114	43.50	84.70
9	13	114	128	30.50	50.00
10	14	128	139.6	21.80	29.80
11	17	139.6	155.7	5.80	21.80
12	18	155.7	161.3	0.00	5.80

Sebagai batasan masalah, pipa yang ditinjau adalah dalam kondisi meletak (*on seabed*). Berikut ini adalah data kondisi pipa berdasarkan *Kilometer Point*.

**Tabel 4.2** Kondisi Pipa Pada Rentang *Kilometer Point*

KP Range		Depth Below Seabed (m)	Soil Type	Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )
From	To			
0	15.5	3.0 ( <i>in trench</i> )	Sand	1320
15.5	29.6	0 ( <i>on seabed</i> )	Sand	1461



**Tabel 4.2** Kondisi Pipa Pada Rentang *Kilometer Point* (lanjutan)

KP Range		Depth below Seabed (m)	Soil Type	Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )
From	From			
29.6	39.6	3.0 ( <i>in trench</i> )	Sand	1527
39.6	62	0 ( <i>on seabed</i> )	Sand	1520
62	77.6	0 ( <i>on seabed</i> )	Sand	1480
77.6	101.4	0 ( <i>on seabed</i> )	Sand	1478
101.4	112.9	0 ( <i>on seabed</i> )	Sand	1410
112.9	149.6	0 ( <i>on seabed</i> )	Sand	1353
149.6	161.3	3.0 ( <i>in trench</i> )	Sand	1258

Berdasarkan data pada tabel 4.1 dan 4.2, dapat diketahui area pipa yang akan diteliti antara lain berada pada zona 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, dan 17. Zona yang dipilih disesuaikan dengan faktor yang menyebabkan terjadinya fenomena *scouring*, yaitu antara zona yang dipengaruhi oleh arus dan zona yang dipengaruhi oleh gelombang. Penentuan mengenai zona yang dipengaruhi kondisi arus maupun gelombang disajikan dalam perhitungan gelombang pecah di bawah ini.

#### 4.1.1 Perhitungan Gelombang Pecah

a.) Perhitungan gelombang pecah wilayah labuhan Maringgai

$$\begin{aligned}
 d &= 8.5 && \text{m} && (\text{Kedalaman perairan}) \\
 H_s &= 4.1 && \text{m} && (\text{Tinggi gelombang}) \\
 T_s &= 8.18 && \text{s} && (\text{Periode gelombang}) \\
 m &= 0.001 && && (\text{Kemiringan dasar laut})
 \end{aligned}$$

- Panjang gelombang di laut dalam

$$\begin{aligned}
 L_0 &= 1.56 \times T_s^2 \\
 &= 1.56 \times (8.18^2) \\
 &= 104.38 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

- $\frac{d}{L_0} = 0.0814$

Dari hasil di atas dapat diketahui nilai  $K_s$  (koefisien *shoaling*) :  $H/H'_0 = 0.76$

sumber : *Shore Protection Manual (1984)* dari appendix A fungsi  $d/L$  untuk pertambahan nilai  $d/L_0$

Sehingga, dengan memasukkan nilai  $H_s$  sebagai fungsi tinggi gelombang, didapatkan nilai :

$$H'_o = 5.42 \text{ m}$$

- Tinggi gelombang pecah

$$H'_o/gT^2 = 0.01 \gg H_b/H'_o = 0.9 \quad (\text{Lihat gambar 4.1})$$

$$H_b = 4.8772 \text{ m}$$

- Kedalaman gelombang pecah

$$H_b/gT^2 = 0.01 \gg d_b/H_b = 1.32 \quad (\text{Lihat gambar 4.2})$$

$$d_b = 6.44 \text{ m}$$

b.) Perhitungan gelombang pecah wilayah Muara Bekasi

$$d = 5.8 \text{ m} \quad (\text{Kedalaman perairan})$$

$$H_s = 3.46 \text{ m} \quad (\text{Tinggi gelombang})$$

$$T_s = 7.52 \text{ s} \quad (\text{Periode gelombang})$$

$$m = 0.01 \quad (\text{Kemiringan dasar laut})$$

- Panjang gelombang di laut dalam

$$\begin{aligned} L_o &= 1.56 \times T_s^2 \\ &= 1.56 \times (7.52^2) \\ &= 88.22 \text{ m} \end{aligned}$$

- $\frac{d}{L_o} = 0.0657$

Dari hasil di atas dapat diketahui nilai  $K_s$  (koefisien *shoaling*) :  $H/H'_o = 0.913$

sumber : *Shore Protection Manual (1984)* dari *appendix A* fungsi  $d/L$  untuk pertambahan nilai  $d/L_o$

Sehingga, dengan memasukkan nilai  $H_s$  sebagai fungsi tinggi gelombang, didapatkan nilai :

$$H'_o = 4.32 \text{ m}$$

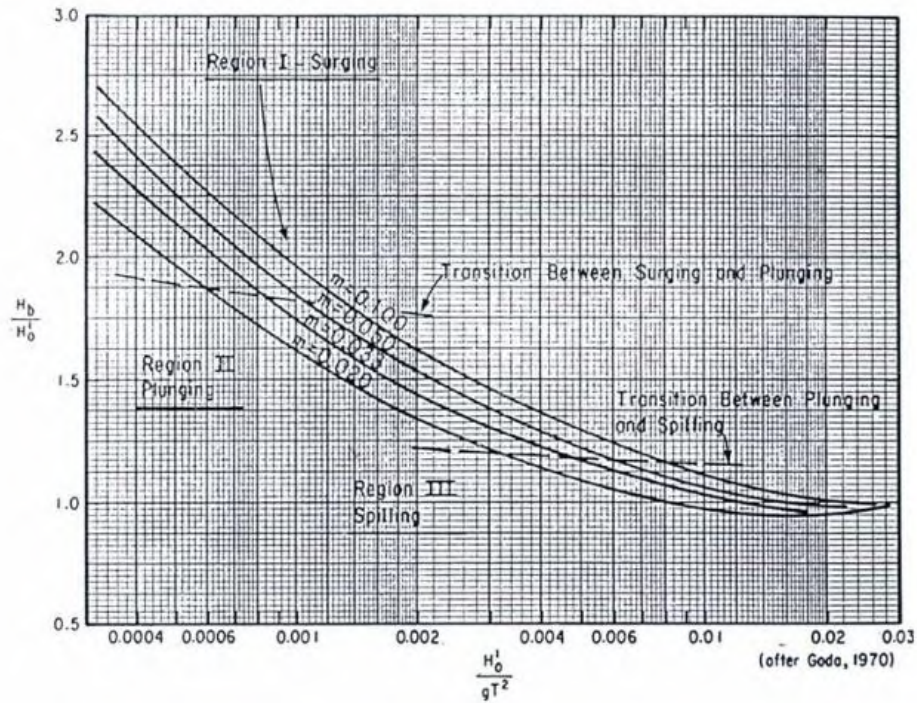
- Tinggi gelombang pecah

$$H'_o/gT^2 = 0.01 \gg H_b/H'_o = 0.9 \quad (\text{Lihat gambar 4.1})$$

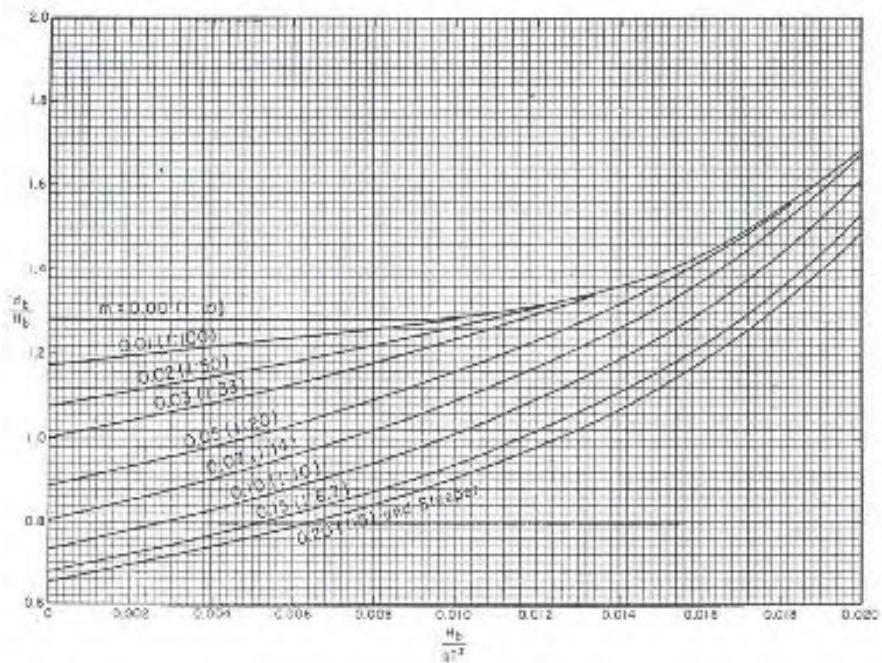
$$H_b = 3.8858 \text{ m}$$

- Kedalaman gelombang pecah

$$\begin{aligned} H_b/gT^2 &= 0.01 \gg d_b/H_b = 1.32 \quad (\text{Lihat gambar 4.2}) \\ d_b &= 5.13 \quad \text{m} \end{aligned}$$



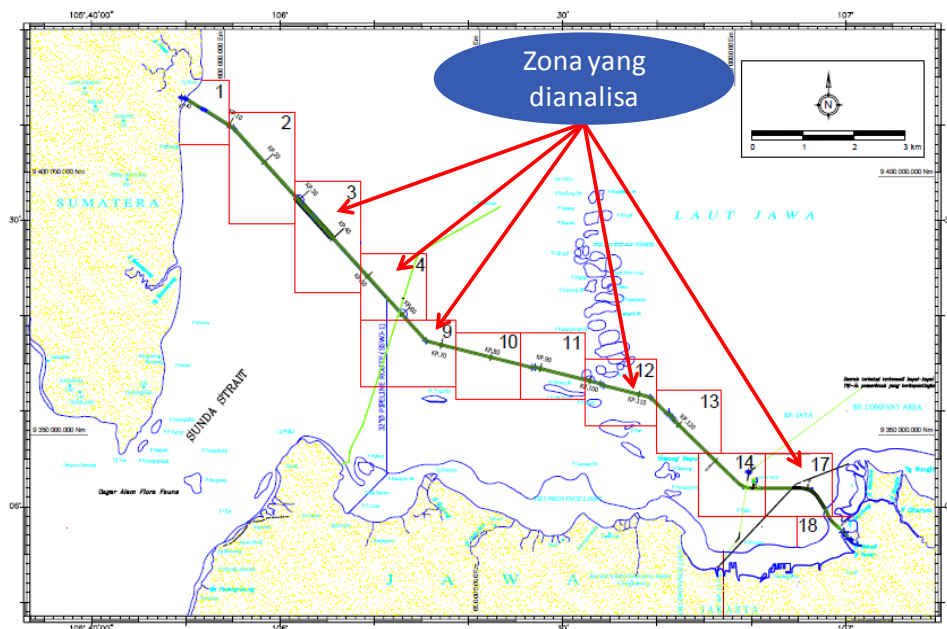
**Gambar 4.1** Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah



**Gambar 4.2** Grafik Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah

Dari hasil perhitungan gelombang pecah pada wilayah Labuhan Maringgai dan Muara Bekasi, dapat disimpulkan bahwa gelombang pecah terjadi pada zona 1 dan 18. Karena zona 1 dan 18 berada di sekitar gelombang pecah, maka pengaruh arus lebih mendominasi daripada gelombang, sedangkan zona lainnya dipengaruhi oleh gelombang. Namun, karena pada zona 1 dan 18 kondisi pipa tidak meletak artinya ada perlakuan *trenching* dan berada di luar batasan masalah, maka tidak dilakukan pembahasan lebih lanjut pada lokasi tersebut. Sehingga, pada pembahasan kali ini akan dilakukan analisa di dalam zona 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, dan 17. Kemudian pembahasan dipersempit lagi menjadi zona 3, 4, 9, 12, dan 17 sesuai dengan ketersediaan data monitoring *scouring* yang diperoleh dari PT. PGN. Peta lokasi jalur pipa bawah laut PT. PGN yang dianalisa pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada gambar 4.3.

Karena kelima zona yang dipilih merupakan area perairan transisi, dimana nilai  $d/L$  berada di rentang antara  $1/20$  hingga  $1/2$ , maka peristiwa *scouring* kemungkinan disebabkan oleh gaya gelombang maupun arus (kombinasi antara keduanya). Penentuan zona yang disebabkan oleh gelombang maupun kombinasi antara gelombang dan arus akan dijelaskan lebih detil pada pembahasan kedalaman *scouring*.



**Gambar 4.3** Peta Lokasi Jalur Pipa Bawah Laut PT. PGN yang dianalisa

(sumber : PT. PGN)

Untuk keperluan menghitung kedalaman dan lebar *scouring* diberikan data lingkungan, antara lain tinggi dan periode gelombang signifikan serta kecepatan arus pada tiap-tiap zona dari PT. PGN sebagai berikut.

**Tabel 4.3** Data Lingkungan Di Tiap Zona

<b>ZONES</b>	<b>Z1</b>	<b>Z2</b>	<b>Z3</b>	<b>Z4</b>	<b>Z9</b>	<b>Z10</b>	<b>Z11</b>	<b>Z12</b>	<b>Z13</b>	<b>Z14</b>	<b>Z17</b>	<b>Z18</b>
<b>WAVES</b>												
Significant Wave Height (Hs) (m)	4.1	4.13	4.49	4.98	4.98	4.98	4.49	4.98	5.03	4.73	3.8	3.46
Spectral peak period (Ts) (sec)	8.18	8.21	8.55	9.00	9.00	9.00	8.55	9.00	9.04	8.77	7.88	7.52
<b>CURRENT SPEED</b>												
At 0% of depth	1.72	1.36	1.70	1.60	1.57	1.53	1.58	1.55	1.61	1.26	1.28	1.42
10% of depth	1.18	0.81	0.95	0.85	0.82	0.78	0.83	0.80	0.86	0.73	0.75	0.89
20% of depth	1.17	0.80	0.93	0.83	0.81	0.76	0.82	0.79	0.84	0.72	0.74	0.88
30% of depth	1.16	0.79	0.91	0.82	0.79	0.75	0.80	0.77	0.82	0.71	0.73	0.87
40% of depth	1.15	0.78	0.89	0.79	0.76	0.72	0.77	0.75	0.80	0.69	0.71	0.85
50% of depth	1.13	0.76	0.85	0.76	0.73	0.69	0.74	0.71	0.77	0.67	0.69	0.83
60% of depth	1.10	0.74	0.81	0.71	0.68	0.51	0.69	0.66	0.72	0.64	0.66	0.80
70% of depth	1.07	0.70	0.74	0.64	0.62	0.58	0.63	0.60	0.65	0.60	0.62	0.76
80% of depth	1.02	0.65	0.66	0.56	0.53	0.49	0.54	0.51	0.57	0.54	0.56	0.70
90% of depth	0.96	0.59	0.53	0.44	0.41	0.37	0.42	0.39	0.45	0.47	0.49	0.63
100% of depth	0.87	0.50	0.37	0.27	0.24	0.20	0.25	0.23	0.28	0.36	0.38	0.52

#### 4.1.2 Perhitungan Teori Gelombang

Untuk mendapatkan nilai kedalaman *scouring* pada kondisi gelombang, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan kecepatan orbital gelombang. Pada titik tertentu, kecepatan orbital gelombang tentunya tidak sama dengan titik di lokasi lainnya. Dengan menentukan teori gelombang yang dipakai, maka akan dapat diperoleh nilai kecepatan orbital gelombang pada titik yang ditinjau.

Penentuan teori gelombang didasarkan pada perhitungan nilai  $H/gT^2$  dan  $d/gT^2$  pada masing-masing lokasi di setiap zona. Hasil yang didapatkan kemudian disesuaikan dengan Grafik *Region of Validity* untuk selanjutnya dapat diketahui teori gelombang yang digunakan. Perhitungan untuk menentukan teori gelombang yang akan digunakan dapat dilihat pada lembar lampiran.

Dari hasil perhitungan teori gelombang pada setiap lokasi yang ditinjau dapat diketahui bahwa zona 3, 4, 9, dan 12 menggunakan teori gelombang Stokes Orde 2, sedangkan zona 17 menggunakan teori gelombang Stokes Orde 3.

#### 4.1.3 Menghitung Panjang Gelombang dan Kecepatan Orbital Gelombang

Pada pembahasan sebelumnya telah diketahui teori gelombang yang dipakai. Tahapan selanjutnya adalah menentukan panjang gelombang di titik pada lokasi yang ditinjau. Dengan mengacu pada data lingkungan yang meliputi kedalaman perairan ( $d$ ), tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ), dan periode gelombang signifikan ( $T_s$ ), maka dapat ditentukan panjang gelombang di laut dalam ( $L_0$ ).

Setelah didapatkan nilai  $L_0$ , selanjutnya yaitu menghitung panjang gelombang pada titik yang ditinjau ( $L$ ), dengan proses iterasi yang menggunakan persamaan (2.26) untuk teori Stokes Orde 2, dan persamaan (2.27) teori Stokes Orde 3. Hasil iterasi panjang gelombang pada titik yang ditinjau ( $L$ ) kemudian digunakan untuk menghitung nilai kecepatan orbital gelombang di masing-masing zona.

Berikut disajikan hasil perhitungan panjang gelombang dan kecepatan orbital gelombang di tiap-tiap zona KP yang ditinjau. Perhitungan lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran.

**Tabel 4.4** Panjang dan Kecepatan Orbital Gelombang Pada Zona 3

NO.	Start Of Span	End Of Span	d (m)	Hs (m)	Ts (s)	Lo (m)	L (m)	Uw (m/s)
	KP	KP						
1	37.534	37.55	28.3	4.49	8.55	114.0399	106.3852	2.0103
2	41.561	41.592	34.5	4.49	8.55	114.0399	109.8555	1.9431
3	46.072	46.1	41.6	4.49	8.55	114.0399	112.0576	1.9029
4	47.038	47.07	42.7	4.49	8.55	114.0399	112.2851	1.8989
5	47.214	47.344	43.8	4.49	8.55	114.0399	112.4894	1.8953

**Tabel 4.5** Panjang dan Kecepatan Orbital Gelombang Pada Zona 4

NO.	Start Of Span	End Of Span	d (m)	Hs (m)	Ts (s)	Lo (m)	L (m)	Uw (m/s)
	KP	KP						
1	49.239	49.607	55.6	4.98	9.00	126.3600	125.5617	1.9819
2	50.043	50.166	48	4.98	9.00	126.3600	124.5462	1.9988
3	50.394	50.598	52	4.98	9.00	126.3600	125.1665	1.9884
4	50.793	51.001	51.8	4.98	9.00	126.3600	125.1405	1.9888
5	50.973	51.141	53.5	4.98	9.00	126.3600	125.3471	1.9854

**Tabel 4.6** Panjang dan Kecepatan Orbital Gelombang Pada Zona 9

NO.	Start Of Span	End Of Span	d (m)	Hs (m)	Ts (s)	Lo (m)	L (m)	Uw (m/s)
	KP	KP						
1	59.541	60.142	56.3	4.98	9.00	126.36	125.62	1.9808
2	60.353	60.526	53.2	4.98	9.00	126.36	125.31	1.9860
3	62.636	63.014	50.4	4.98	9.00	126.36	124.94	1.9921
4	63.897	65.502	54.7	4.98	9.00	126.36	125.47	1.9833
5	67.832	69.327	60.7	4.98	9.00	126.36	125.94	1.9757

**Tabel 4.7** Panjang dan Kecepatan Orbital Gelombang Pada Zona 12

NO.	Start Of Span	End Of Span	d (m)	Hs (m)	Ts (s)	Lo (m)	L (m)	Uw (m/s)
	KP	KP						
1	100.187	100.218	54.4	4.98	9.00	126.36	125.44	1.9838
2	100.220	100.255	53.6	4.98	9.00	126.36	125.36	1.9852
3	100.312	100.349	52.7	4.98	9.00	126.36	125.25	1.9870
4	107.818	107.832	68.5	4.98	9.00	126.36	126.25	1.9705
5	109.012	109.03	79.1	4.98	9.00	126.36	126.43	1.9676

**Tabel 4.8** Panjang dan Kecepatan Orbital Gelombang Pada Zona 17

NO.	Start Of Span	End Of Span	d (m)	Hs (m)	Ts (s)	Lo (m)	L (m)	Uw (m/s)
	KP	KP						
1	141.881	141.884	23.3	3.80	7.88	96.87	89.63	1.7031
2	143.667	143.715	23.0	3.80	7.88	96.87	89.94	1.7095
3	145.821	145.879	23.6	3.80	7.88	96.87	90.25	1.7003
4	145.892	145.923	23.8	3.80	7.88	96.87	90.44	1.6978
5	146.73	146.790	22.3	3.80	7.88	96.87	88.86	1.7182

#### 4.2 Pemrograman untuk Perhitungan *Scouring*

Pada bagian ini, perhitungan *scouring* dilakukan dengan bantuan bahasa pemrograman Fortran. Versi program Fortran yang digunakan adalah *Compact Visual Fortran* edisi 6.1.0. Program tersebut bernama *Scour.FOR*. Sintaks program terdiri atas beberapa bagian antara lain :

- Blok identifikasi program, yang berisi penjelasan mengenai program
- Blok identifikasi variabel, yang merupakan deskripsi atau penjelasan dari tiap-tiap variabel yang akan dipakai
- Blok input data, dimana input data diisikan
- Blok hitungan, berisi formula untuk menghitung kedalaman dan lebar *scouring*
- Blok penulisan, berisi sintaks format penulisan hasil perhitungan

Sistematika penulisan sintaks pada program *Scour.FOR* didasarkan pada algoritma pemrograman yang sudah dijelaskan pada bab metodologi penelitian. Di dalam algoritma tersebut dijelaskan mengenai opsi-opsi maupun alternatif yang digunakan untuk menghitung kedalaman dan lebar *scouring*, serta pemodelannya dengan variasi jarak *clearance* ataupun pada kondisi *timescale*. Dari pemodelan tersebut didapatkan profil 2D yang mewakili sketsa lubang *scour*. Selain itu juga dapat diperoleh sketsa proses penggerusan hingga mencapai tahap *equilibrium* atau ketika kedalaman *scouring* maksimum tercapai. Hasil pemodelan dapat dilihat pada penjelasan subbab berikut ini.



#### 4.2.1 Perhitungan Kedalaman dan Lebar *Scouring*

Hasil perhitungan kedalaman dan lebar *scouring* pada tiap-tiap KP yang ditinjau disajikan pada tabel 4.9 – 4.13 di bawah ini.

**Tabel 4.9** Hasil Perhitungan Program Scour.FOR untuk Kedalaman dan Lebar  
*Scouring* untuk Zona 3

NO.	Start Of Span	End Of Span	d (m)	Uw (m/s)	KC	Sdmax (m)	Sd (data) (m)	w (m)
	KP	KP						
1	37.534	37.55	28.3	2.0103	18.8303	0.5232	0.50	2.1533
2	41.561	41.592	34.5	1.9431	18.2005	0.5208	0.50	2.1062
3	46.072	46.1	41.6	1.9029	17.8242	0.5196	0.50	2.0778
4	47.038	47.07	42.7	1.8989	17.7863	0.5195	0.50	2.0749
5	47.214	47.344	43.8	1.8953	17.7524	0.5194	0.50	2.0723

**Tabel 4.10** Hasil Perhitungan Program Scour.FOR untuk Kedalaman dan Lebar  
*Scouring* untuk Zona 4

NO.	Start Of Span	End Of Span	d (m)	Uw (m/s)	KC	Sdmax (m)	Sd (data) (m)	w (m)
	KP	KP						
1	49.239	49.607	55.6	1.9819	19.5408	0.5088	0.50	2.2057
2	50.043	50.166	48	1.9988	19.7076	0.5097	0.50	2.2180
3	50.394	50.598	52	1.9884	19.6053	0.5091	0.50	2.2105
4	50.793	51.001	51.8	1.9888	19.6096	0.5092	0.50	2.2108
5	50.973	51.141	53.5	1.9854	19.5758	0.5090	0.50	2.2083

**Tabel 4.11** Hasil Perhitungan Program Scour.FOR untuk Kedalaman dan Lebar  
*Scouring* untuk Zona 9

NO.	Start Of Span	End Of Span	d (m)	Uw (m/s)	KC	Sdmax (m)	Sd (data) (m)	w (m)
	KP	KP						
1	59.541	60.142	56.3	1.9808	19.5306	0.5009	0.50	2.2050
2	60.353	60.526	53.2	1.9860	19.5814	0.5012	0.50	2.2087
3	62.636	63.014	50.4	1.9921	19.6418	0.5015	0.50	2.2131

**Tabel 4.11** Hasil Perhitungan Program Scour.FOR untuk Kedalaman dan Lebar  
*Scouring* untuk Zona 9 (lanjutan)

NO.	Start Of Span	End Of Span	d (m)	Uw (m/s)	KC	Sdmax (m)	Sd (data) (m)	w (m)
	KP	KP						
4	63.897	65.502	54.7	1.9833	19.5549	0.5010	0.50	2.2068
5	67.832	69.327	60.7	1.9757	19.4799	0.5006	0.50	2.2013

**Tabel 4.12** Hasil Perhitungan Program Scour.FOR untuk Kedalaman dan Lebar  
*Scouring* untuk Zona 12

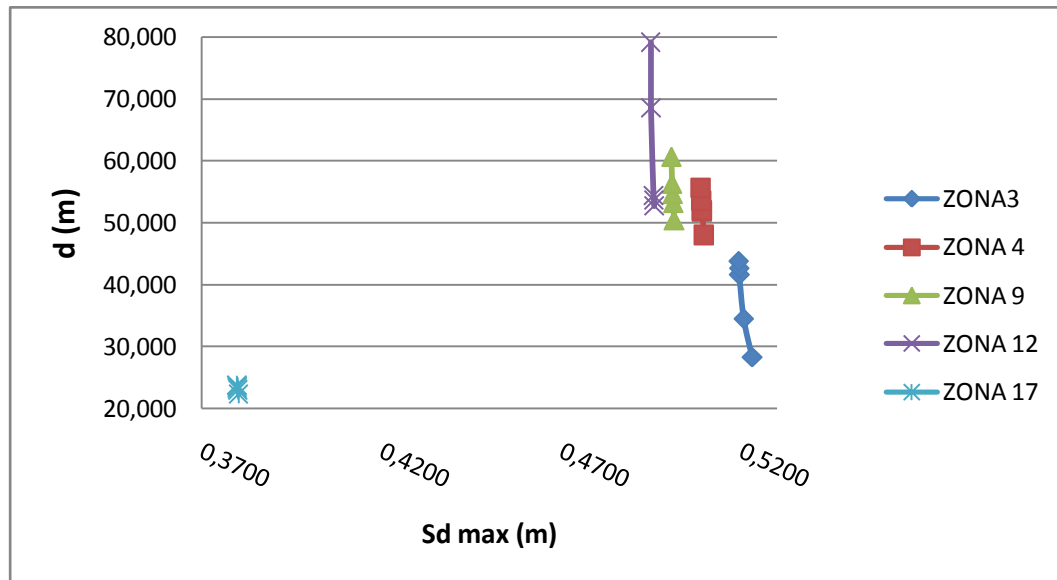
NO.	Start Of Span	End Of Span	d (m)	Uw (m/s)	KC	Sdmax (m)	Sd (data) (m)	w (m)
	KP	KP						
1	100.187	100.218	54.4	1.9838	19.5599	0.4958	0.40	2.2072
2	100.220	100.255	53.6	1.9852	19.5739	0.4959	0.40	2.2082
3	100.312	100.349	52.7	1.9870	19.5910	0.4960	0.40	2.2094
4	107.818	107.832	68.5	1.9705	19.4290	0.4951	0.40	2.1975
5	109.012	109.03	79.1	1.9676	19.4002	0.4949	0.40	2.1954

**Tabel 4.13** Hasil Perhitungan Program Scour.FOR untuk Kedalaman dan Lebar  
*Scouring* untuk Zona 17

NO.	Start Of Span	End Of Span	d (m)	Uw (m/s)	KC	Sdmax (m)	Sd (data) (m)	w (m)
	KP	KP						
1	141.881	141.884	23.3	1.7031	14.7029	0.3800	0.50	1.8334
2	143.667	143.715	23.0	1.7095	14.7575	0.3802	0.40	1.8378
3	145.821	145.879	23.6	1.7003	14.6787	0.3800	0.50	1.8314
4	145.892	145.923	23.8	1.6978	14.6566	0.3799	0.40	1.8296
5	146.73	146.790	22.3	1.7182	14.8327	0.3804	0.50	1.8439

Perhitungan kedalaman maksimum dan lebar *scouring* yang diperoleh, menghasilkan analisa yang melibatkan parameter-parameter yang mempengaruhi kedalaman dan lebar *scouring* yang terjadi. Untuk mempermudah

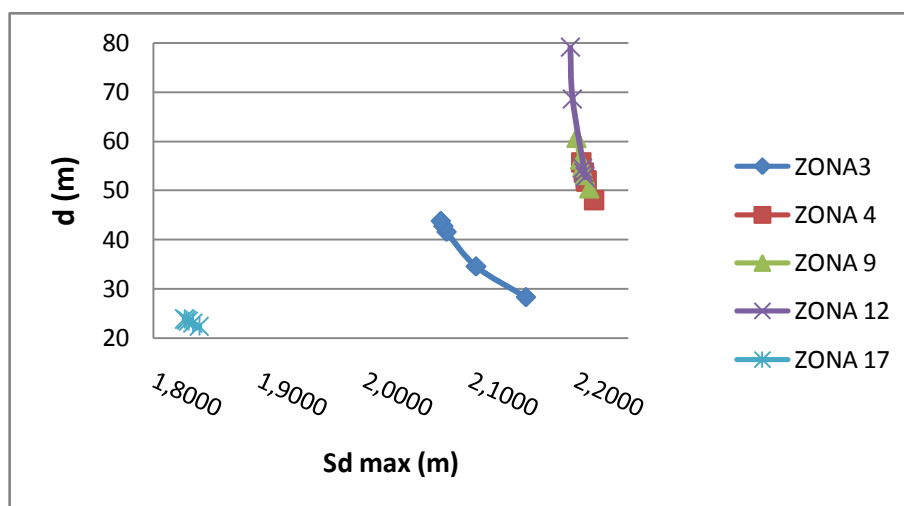
mengintrepetasikan data, maka hasil perhitungan kedalaman maksimum dan lebar *scouring* dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut ini. Klasifikasi zona dimulai dari zona 3 di wilayah Labuhan Maringgai (Sumatera Selatan) hingga zona 17 yang berada di Muara Bekasi (Jawa Barat).



**Gambar 4.4** Grafik Kedalaman Maksimum *Scouring* Pada Zona 3 - 17

Berdasarkan gambar 4.4 yang menunjukkan hubungan antara kedalaman maksimum *scouring* dengan parameter kedalaman perairan, dapat diambil hipotesis bahwa kedalaman maksimum *scouring* yang dihasilkan berbanding terbalik dengan kedalaman perairan. Semakin dalam suatu perairan, maka kedalaman *scouring* yang dihasilkan akan semakin kecil. Sebaliknya, semakin dangkal suatu perairan, maka kedalaman *scouring* akan semakin besar. Sehingga, *scouring* terbesar terjadi pada daerah *onshore* menuju ke daratan. Dalam hal ini faktor kecepatan orbital gelombang dan kecepatan arus sangat mempengaruhi pembentukan lubang scour.

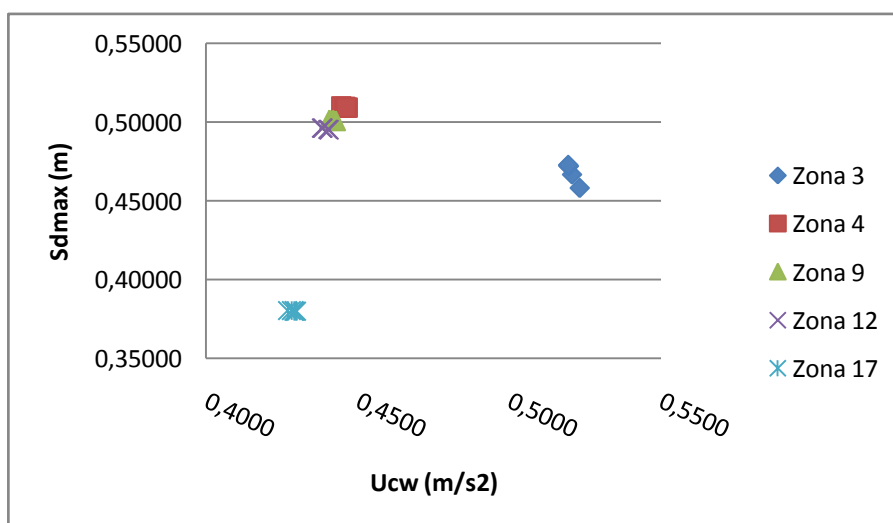
Parameter kedalaman perairan juga berpengaruh pada lebar *scouring* yang dihasilkan. Perhitungan kedalaman *scouring* pada tiap-tiap KP di zona yang dianalisa dapat dilihat pada gambar 4.5.



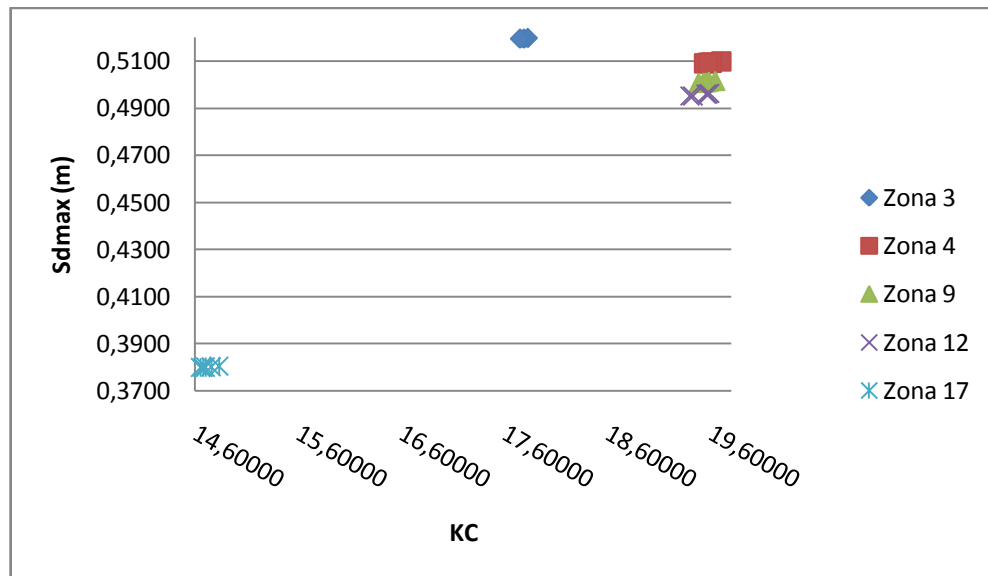
**Gambar 4.5** Grafik Lebar *Scouring* Pada Zona 3 - 17

Berdasarkan gambar 4.4 dan 4.5 di atas, diketahui bahwa parameter kedalaman perairan juga mempengaruhi lebar *scouring* yang terjadi. Sama halnya dengan kedalaman *scouring*, pada kasus *scouring* akibat kombinasi arus dan gelombang, semakin dalam suatu perairan, maka semakin kecil lebar lubang *scour* yang dihasilkan. sebaliknya, semakin dangkal suatu perairan, maka lebar lubang *scouring* semakin besar.

Jika dilihat dari polanya, meningkatnya nilai kedalaman *scouring* ( $S_{dmax}$ ) dipengaruhi oleh beberapa parameter lain. Dalam analisa ini ditemukan adanya keterkaitan antara kedalaman *scouring* dengan nilai kecepatan superposisi gelombang dan arus ( $U_{cw}$ ) dan Keulegan Carpenter Number (KC) dengan kedalaman *scouring*.



**Gambar 4.6** Grafik Hubungan Antara  $U_{cw}$  dan  $S_{dmax}$

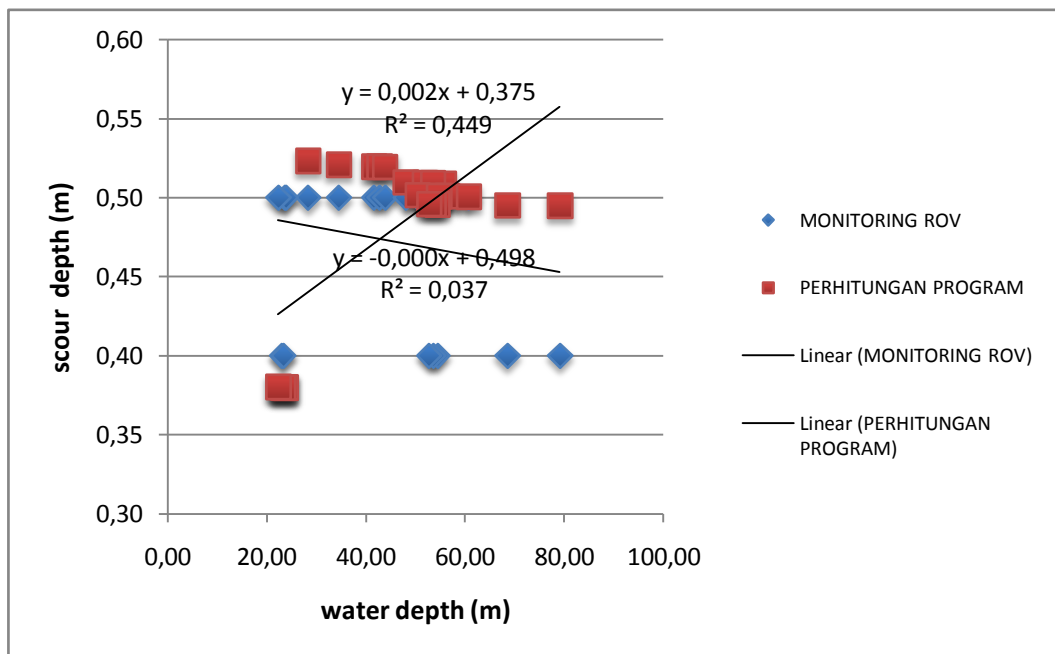


**Gambar 4.7** Grafik Hubungan Antara KC dan Sdmax

Gambar 4.6 dan 4.7 menjelaskan bagaimana Sdmax dipengaruhi oleh parameter Ucw dan KC. Kedalaman *scouring* berbanding terbalik dengan nilai Ucw. Semakin besar Ucw, maka kedalaman *scouring* akan menurun, begitu pula sebaliknya. Sedangkan nilai KC sebanding dengan kedalaman *scouring*. Pada kondisi kombinasi arus dan gelombang, kedalaman *scouring* akan naik seiring dengan bertambahnya nilai KC.

Parameter lain yang berpengaruh terhadap pembentukan lubang *scour* adalah jenis tanah. Pada jenis tanah *non-cohesive* seperti pasir, *scouring* akan cenderung lebih mudah terjadi dibandingkan dengan jenis tanah *cohesive* seperti pada tanah lanau. Hal tersebut disebabkan oleh kerapatan butiran pada tanah *non-cohesive* lebih kecil daripada *cohesive soil* sehingga menyebabkan butiran lebih mudah terangkat dan terdeposisi. Diameter butiran *non-cohesive* dinyatakan dalam  $d_{50}$  yang merupakan diameter butiran rata-rata yang lolos ayakan 200 pada uji diameter butiran. *Scouring* yang timbul bisa jadi berbeda sesuai dengan besar kecilnya diameter butiran  $d_{50}$  yang dipastikan adalah jenis tanah pasir. Kedalaman dan lebar *scouring* akan semakin besar pada dasar laut dengan butiran yang lebih kecil, begitu pula sebaliknya. Pada penelitian ini tidak dilakukan variasi terhadap diameter butiran, karena pada batasan masalah telah disebutkan bahwa jenis tanah yang digunakan adalah *non-cohesive soil* dengan  $d_{50} = 0.00025$  m.

Selanjutnya, untuk mengetahui seberapa akurat hasil pemodelan dengan kondisi yang sesungguhnya di lapangan, maka dilakukan validasi data dengan analisa regresi yang membandingkan data hasil perhitungan pada pemrograman dengan data monitoring yang dilakukan oleh PT PGN. Margin error yang dihasilkan dengan metode *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) adalah sebesar 0.08% dengan persamaan regresi  $\bar{y} = 0.3760 + 0.1995\bar{x}$ . Dengan prosentase error sebesar 0.08%, maka dapat disimpulkan bahwa analisa matematis yang dilakukan mendekati nilai yang sebenarnya di lapangan. Grafik regresi antara hasil perhitungan dengan data monitoring lapangan dapat dilihat pada gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Kurva Regresi Perhitungan Kedalaman *Scouring* dari Hasil Pemrograman Dibandingkan Dengan Data Monitoring

## 4.2.2 Perhitungan Laju Propagasi *Scouring* dan *Time scale Scouring*

### 4.2.2.1 Laju Propagasi *Scouring* Fungsi (x) Dengan Variasi Jarak *Clearance*

Laju propagasi *scouring* sebagai fungsi (x) pada persamaan 2.20 menghasilkan bentuk profil 2D lubang *scour* sepanjang lebar *scouring* (w). Perhitungan laju propagasi *scouring* dengan program Scour.FOR menggunakan perintah *DO Looping* sebagai *statement control*. *Output* numerik perhitungan kedalaman *scouring* dengan variasi jarak *clearance* pipa terhadap dasar laut dapat dilihat pada tabel 4.14 – 4.18. Kemudian apabila nilai-nilai hasil perhitungan

tersebut diplotkan dalam grafik akan menghasilkan profil 2D *scouring* yang dapat dilihat pada gambar 4.9 – 4.13. Tinggi lubang *scouring*  $h(x)$  pada grafik dihitung dari setengah diameter pipa menuju dasar laut. Rangkuman hasil pemodelan numerik lubang *scour* dengan program *Scour.FOR* dapat dilihat selengkapnya pada lembar lampiran.

Sebagai pembandingan hasil, dilakukan variasi terhadap *clearance*/jarak pipa terhadap dasar laut, yaitu gap pada 0%, 25%, 50%, 100% , 200%, 300%, dari diameter pipa dan 5 m dan 10 m dari dasar laut untuk mengetahui adanya keterkaitan antara gap dengan kedalaman dan profil lubang *scour* yang dihasilkan.

**Tabel 4.14** Tabel Perhitungan Kedalaman *Scouring* dengan Variasi Gap pada Zona 3

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	Uw (m/s)	Uc (m/s)	KC	Sdmax (m), e (m)									w
	KP	KP					e = 0	e = 0.228	e = 0.456	e = 0.913	e = 1.826	e = 2.739	e = 3.651	e = 5.0	e = 10.0	
1	37.534	37.55	28.3	2.01	1.7	18.83	0.420	0.176	0.150	0.109	0.058	0.031	0.016	0.006	0.000	2.153
2	41.561	41.592	34.5	1.94	1.7	18.20	0.412	0.171	0.146	0.107	0.057	0.030	0.016	0.006	0.000	2.106
3	46.072	46.1	41.6	1.90	1.7	17.82	0.408	0.168	0.144	0.105	0.056	0.030	0.016	0.006	0.000	2.078
4	47.038	47.07	42.7	1.90	1.7	17.79	0.408	0.168	0.144	0.105	0.056	0.030	0.016	0.006	0.000	2.075
5	47.214	47.344	43.8	1.90	1.7	17.75	0.407	0.168	0.143	0.105	0.056	0.030	0.016	0.006	0.000	2.072

**Tabel 4.15** Tabel Perhitungan Kedalaman *Scouring* dengan Variasi Gap pada Zona 4

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	Uw (m/s)	Uc (m/s)	KC	Sdmax (m), e (m)									w
	KP	KP					e = 0	e = 0.228	e = 0.456	e = 0.913	e = 1.826	e = 2.739	e = 3.651	e = 5.0	e = 10.0	
1	49.239	49.607	55.6	1.98	1.55	19.54	0.427	0.181	0.154	0.113	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.206
2	50.043	50.166	48	2.00	1.55	19.71	0.429	0.182	0.155	0.113	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.218
3	50.394	50.598	52	1.99	1.55	19.61	0.428	0.181	0.155	0.113	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.210
4	50.793	51.001	51.8	1.99	1.55	19.61	0.428	0.181	0.155	0.113	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.211
5	50.973	51.141	53.5	1.99	1.55	19.58	0.428	0.181	0.155	0.113	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.208



**Tabel 4.16** Tabel Perhitungan Kedalaman *Scouring* dengan Variasi Gap pada Zona 9

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	U <sub>w</sub> (m/s)	U <sub>c</sub> (m/s)	KC	S <sub>d</sub> max (m), e (m)									w
	KP	KP					e = 0	e = 0.228	e = 0.456	e = 0.913	e = 1.826	e = 2.739	e = 3.651	e = 5.0	e = 10.0	
1	59.541	60.142	56.3	1.98	1.57	19.53	0.427	0.181	0.154	0.113	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.205
2	60.353	60.526	53.2	1.99	1.57	19.58	0.428	0.181	0.155	0.113	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.209
3	62.636	63.014	50.4	1.99	1.57	19.64	0.429	0.181	0.155	0.113	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.213
4	63.897	65.502	54.7	1.98	1.57	19.55	0.428	0.181	0.154	0.113	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.207
5	67.832	69.327	60.7	1.98	1.57	19.48	0.427	0.180	0.154	0.112	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.201

**Tabel 4.17** Tabel Perhitungan Kedalaman *Scouring* dengan Variasi Gap pada Zona 12

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	U <sub>w</sub> (m/s)	U <sub>c</sub> (m/s)	KC	S <sub>d</sub> max (m), e (m)									w
	KP	KP					e = 0	e = 0.228	e = 0.456	e = 0.913	e = 1.826	e = 2.739	e = 3.651	e = 5.0	e = 10.0	
1	100.187	100.218	54.4	1.98	1.55	19.56	0.428	0.181	0.154	0.113	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.207
2	100.220	100.255	53.6	1.99	1.55	19.57	0.428	0.181	0.155	0.113	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.208
3	100.312	100.349	52.7	1.99	1.55	19.59	0.428	0.181	0.155	0.113	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.209
4	107.818	107.832	68.5	1.97	1.55	19.43	0.426	0.180	0.154	0.112	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.198
5	109.012	109.030	79.1	1.97	1.55	19.40	0.426	0.180	0.154	0.112	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.195

**Tabel 4.18** Tabel Perhitungan Kedalaman *Scouring* dengan Variasi Gap pada Zona 17

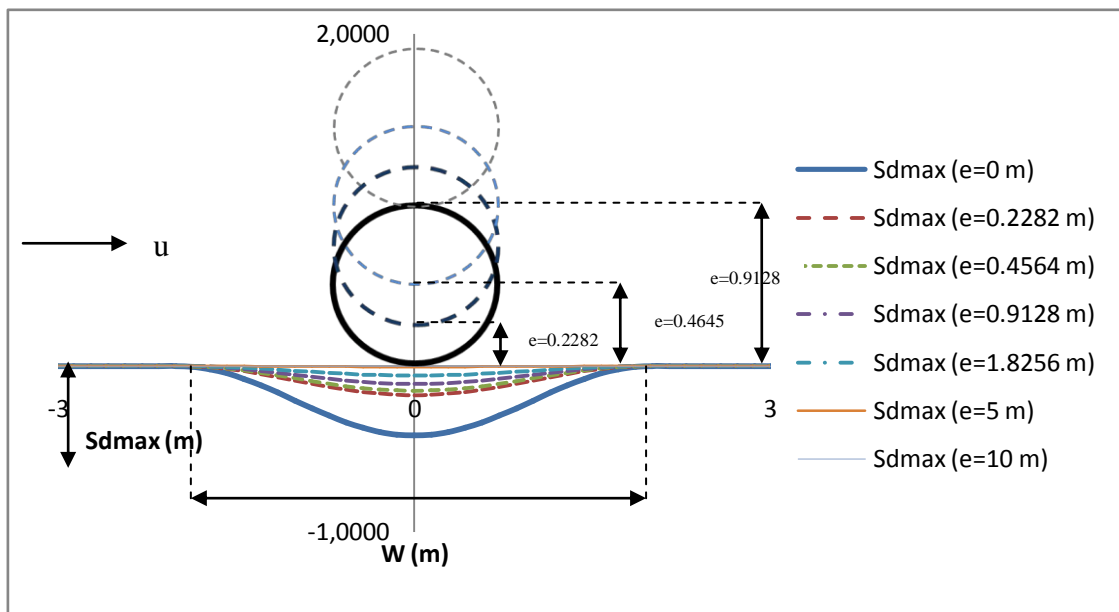
NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	U <sub>w</sub> (m/s)	U <sub>c</sub> (m/s)	KC	S <sub>dmax</sub> (m), e (m)									w
	KP	KP					e = 0	e = 0.228	e = 0.456	e = 0.913	e = 1.826	e = 2.739	e = 3.651	e = 5.0	e = 10.0	
1	141.881	141.884	23.3	1.70	1.28	14.70	0.370	0.145	0.124	0.091	0.048	0.026	0.014	0.005	0.000	1.833
2	143.667	143.715	23	1.71	1.28	14.76	0.371	0.146	0.125	0.091	0.048	0.026	0.014	0.005	0.000	1.838
3	145.821	145.879	23.6	1.70	1.28	14.68	0.370	0.145	0.124	0.091	0.048	0.026	0.014	0.005	0.000	1.831
4	145.892	145.923	23.8	1.70	1.28	14.66	0.370	0.145	0.124	0.090	0.048	0.026	0.014	0.005	0.000	1.830
5	109.012	109.030	79.1	1.97	1.55	19.40	0.426	0.180	0.154	0.112	0.060	0.032	0.017	0.007	0.000	2.195

Berikut ini ditampilkan hasil pemodelan numerik profil 2D *scouring* akibat variasi jarak *clearance* yang ditinjau di salah satu KP di masing-masing zona. Tabel 4.19 – 4.23 merupakan detil informasi dari *kilometer point* yang ditinjau.

**Tabel 4.19** Tabel Informasi Grafik Laju Propagasi *Scouring* Untuk Zona 3

Start KP	End KP	d (m)	Sdmax (m) with e (m)						
			e = 0	e=0.23	e=0.46	e=0.91	e=1.83	e=2.74	e=3.65
37.534	37.55	28.3	0.420	0.176	0.150	0.109	0.058	0.031	0.016

Start KP	End KP	d (m)	Sdmax (m) with e (m)		w (m)
			e=5.0	e=10.0	
37.534	37.55	28.3	0.006	0.000	2.153

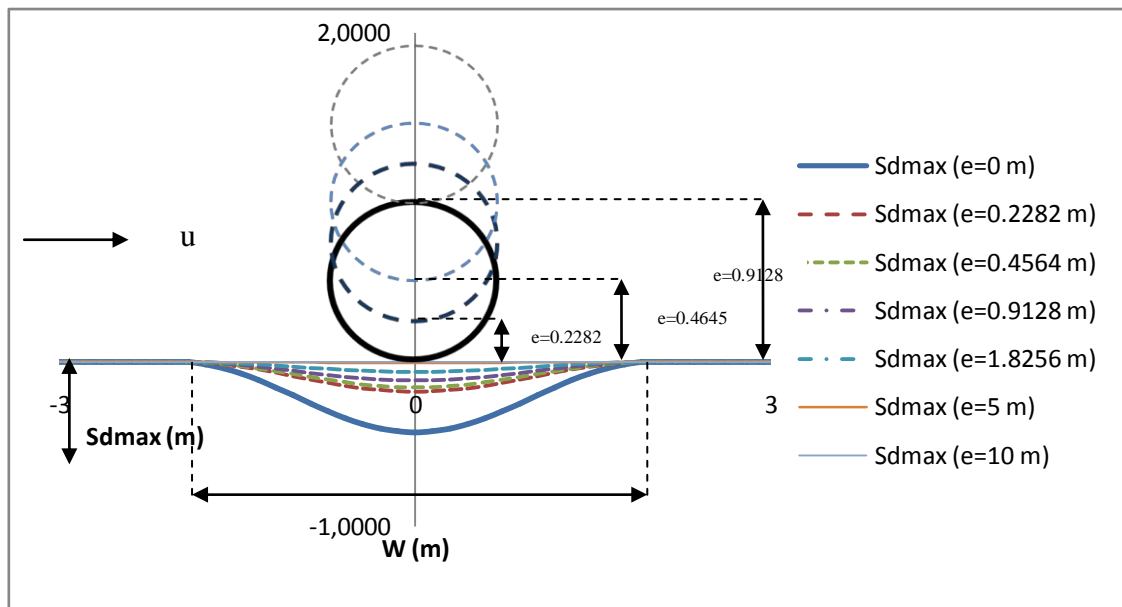


**Gambar 4.9** Profil 2D *Scouring* Terhadap Pipa Pada Zona 3

**Tabel 4.20** Tabel Informasi Grafik Laju Propagasi *Scouring* Untuk Zona 4

Start KP	End KP	d (m)	Sdmax (m) with e (m)						
			e = 0	e=0.23	e=0.46	e=0.91	e=1.83	e=2.74	e=3.65
49.239	49.607	55.6	0.427	0.181	0.154	0.113	0.060	0.032	0.017

Start KP	End KP	d (m)	Sdmax (m) with e (m)		w (m)
			e=5.0	e=10.0	
49.239	49.607	55.6	0.007	0.000	2.206

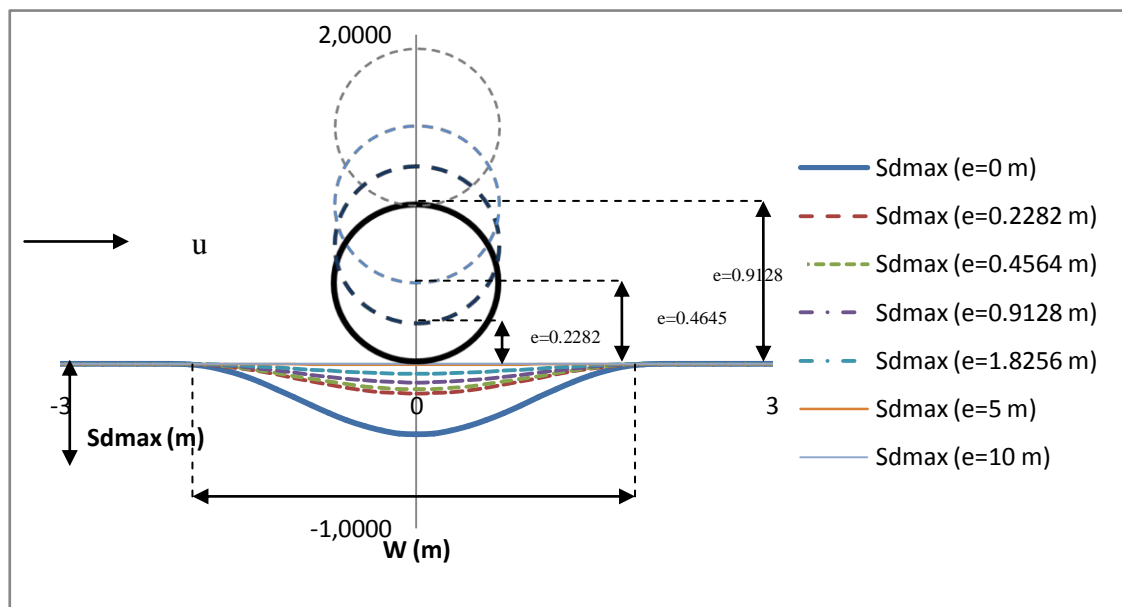


**Gambar 4.10** Profil 2D *Scouring* Terhadap Pipa Pada Zona 4

**Tabel 4.21** Tabel Informasi Grafik Laju Propagasi *Scouring* Untuk Zona 9

Start KP	End KP	d (m)	Sdmax (m) with e (m)						
			e = 0	e=0.23	e=0.46	e=0.91	e=1.83	e=2.74	e=3.65
59.541	60.142	56.3	0.427	0.181	0.154	0.113	0.060	0.032	0.017

Start KP	End KP	d (m)	Sdmax (m) with e (m)		w (m)
			e=5.0	e=10.0	
59.541	60.142	56.3	0.007	0.000	2.2050

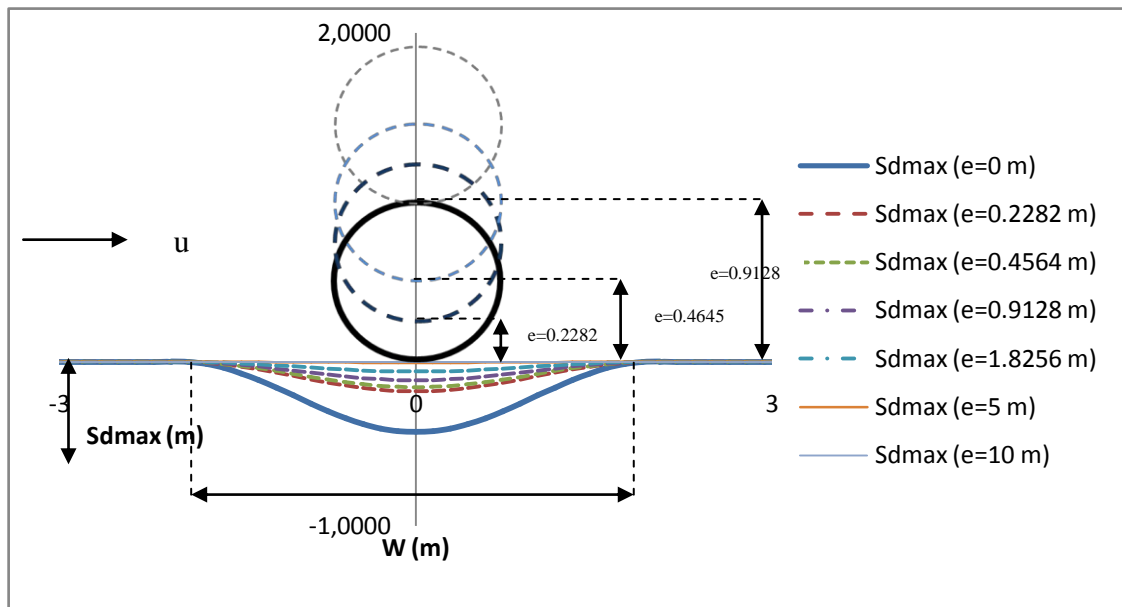


**Gambar 4.11** Profil 2D *Scouring* Terhadap Pipa Pada Zona 9

**Tabel 4.22** Tabel Informasi Grafik Laju Propagasi *Scouring* Untuk Zona 12

Start KP	End KP	d (m)	Sdmax (m) with e (m)						
			e = 0	e=0.23	e=0.46	e=0.91	e=1.83	e=2.74	e=3.65
100.187	100.218	54.4	0.427	0.181	0.154	0.113	0.060	0.032	0.017

Start KP	End KP	d (m)	Sdmax (m) with e (m)		w (m)
			e=5.0	e=10.0	
100.187	100.218	54.4	0.007	0.000	2.2050

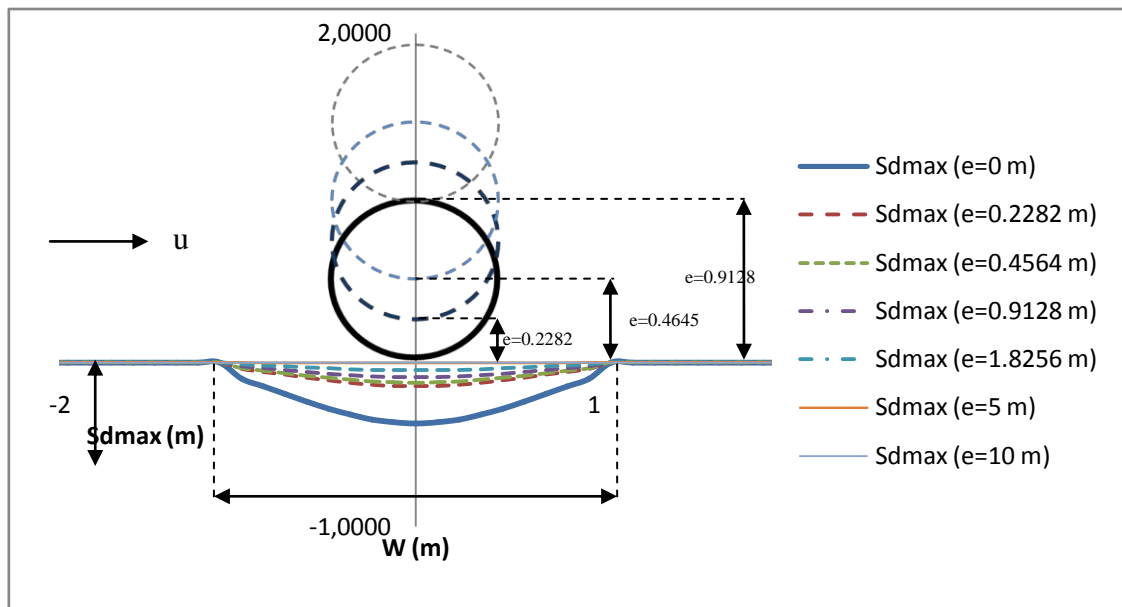


**Gambar 4.12** Profil 2D *Scouring* Terhadap Pipa Pada Zona 12

**Tabel 4.23** Tabel Informasi Grafik Laju Propagasi *Scouring* Untuk Zona 17

Start KP	End KP	d (m)	Sdmax (m) with e (m)						
			e = 0	e=0.23	e=0.46	e=0.91	e=1.83	e=2.74	e=3.65
141.881	141.884	23.3	0.370	0.145	0.124	0.091	0.048	0.026	0.014

Start KP	End KP	d (m)	Sdmax (m) with e (m)		w (m)
			e=5.0	e=10.0	
141.881	141.884	23.3	0.005	0.000	1.8334



**Gambar 4.13** Profil 2D *Scouring* Terhadap Pipa Pada Zona 17

Berdasarkan gambar 4.9 – 4.13 di atas yang menunjukkan profil 2D *scouring* pada rentang KP tertentu di setiap zona, dapat diketahui karakteristik kedalaman maksimum *scouring* ( $S_{dmax}$ ) dengan parameter yang divariasikan, yaitu jarak antara dasar laut dengan pipa (*clearance/gap*). Semakin besar jarak antara pipa dan dasar laut, maka kedalaman *scouring* maksimum yang dihasilkan akan semakin kecil, demikian pula sebaliknya. Hal tersebut disebabkan oleh berubahnya pola kecepatan baik arus maupun gelombang yang mengenai struktur dengan tidak adanya kontak langsung pipa dengan dasar laut. Kecepatan maksimum yang mengenai pipa tereduksi dengan adanya gap diantara pipa dan dasar laut. Sehingga turbulensi akan semakin kecil dan gerusan yang terjadi akan berkurang.

Kedalaman *scouring* terbesar terjadi pada variasi  $e = 0$  m, atau pada kondisi pipa meletak tepat pada dasar laut. Pada jarak  $e = 10$  m, kedalaman *scouring* akan terus berkurang hingga mendekati nilai nol. Sehingga diasumsikan pada jarak 10 m atau lebih, *scouring* sudah tidak terjadi lagi ( $S_d = 0$ ).

#### **4.2.2.2 Laju Propagasi *Scouring* Terhadap Waktu (*Time scale Scouring*)**

Laju propagasi *scouring* pada subbab sebelumnya merupakan fungsi ( $x$ ) dimana  $x_n$  adalah absis pias ke- $n$  pada lebar ( $w$ ) lubang *scour* dibagi dengan *number of point* (pias-pias sepanjang  $w$ ). Selanjutnya, dengan memasukkan fungsi  $t$  (waktu) ke persamaan propagasi *scouring*, maka dapat ditentukan  $T$ , yang merupakan fungsi *time scale* dimana terjadi perpindahan butiran sedimen yang menyebabkan penggerusan dalam jumlah yang signifikan. *Time scale* ( $T$ ) serta kedalaman pada waktu  $t$  ( $S_t$ ) pada masing-masing zona yang dianalisa dapat dilihat pada tabel 4.24 – 4.28.



**Tabel 4.24** Tabel *Time scale* dan Laju Propagasi *Scouring* pada Zona 3

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	T*	T (s)	T (min)	Sdmax (m)	St (t=1 min) (m)	St (t=2 min) (m)	St (t=3 min) (m)	St (t=T) (m)
	KP	KP						(m)	(m)	(m)	(m)
1	37.534	37.550	28.3	0.0047	245.85	4.0975	0.5232	0.1133	0.2021	0.2716	0.3307
2	41.561	41.592	34.5	0.0047	245.61	4.0935	0.5208	0.1129	0.2013	0.2705	0.3292
3	46.072	46.100	41.6	0.0044	229.13	3.8189	0.5196	0.1197	0.2118	0.2827	0.3285
4	47.038	47.070	42.7	0.0043	225.69	3.7615	0.5195	0.1213	0.2142	0.2855	0.3284
5	47.214	47.344	43.8	0.0042	222.11	3.7018	0.5194	0.1230	0.2168	0.2884	0.3283

**Tabel 4.25** Tabel *Time scale* dan Laju Propagasi *Scouring* pada Zona 4

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	T*	T (s)	T (min)	Sdmax (m)	St (t=1 min) (m)	St (t=2 min) (m)	St (t=3 min) (m)	St (t=T) (m)
	KP	KP						(m)	(m)	(m)	(m)
1	49.239	49.607	55.600	0.0031	164.21	2.74	0.5088	0.1557	0.2638	0.3388	0.3216
2	50.043	50.166	48.000	0.0035	184.52	3.08	0.5097	0.1415	0.2437	0.3175	0.3222
3	50.394	50.598	52.000	0.0033	174.06	2.90	0.5091	0.1485	0.2536	0.3281	0.3218
4	50.793	51.001	51.800	0.0033	174.60	2.91	0.5092	0.1481	0.2531	0.3276	0.3219
5	50.973	51.141	53.500	0.0032	169.99	2.83	0.5090	0.1514	0.2577	0.3325	0.3217

**Tabel 4.26** Tabel *Time scale* dan Laju Propagasi *Scouring* pada Zona 9

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	T* (s)	T (min)	Sdmax (m)	St (t=1 min) (m)	St (t=2 min) (m)	St (t=3 min) (m)	St (t=T) (m)	
	KP	KP					(m)	(m)	(m)	(m)	
1	59.541	60.142	56.300	0.0031	160.05	2.67	0.5009	0.1566	0.2642	0.3382	0.3166
2	60.353	60.526	53.200	0.0032	168.48	2.81	0.5012	0.1502	0.2553	0.3290	0.3168
3	62.636	63.014	50.400	0.0034	175.94	2.93	0.5015	0.1449	0.2479	0.3212	0.3170
4	63.897	65.502	54.700	0.0031	164.41	2.74	0.5010	0.1532	0.2595	0.3334	0.3167
5	67.832	69.327	60.700	0.0028	148.10	2.47	0.5006	0.1668	0.2780	0.3521	0.3164

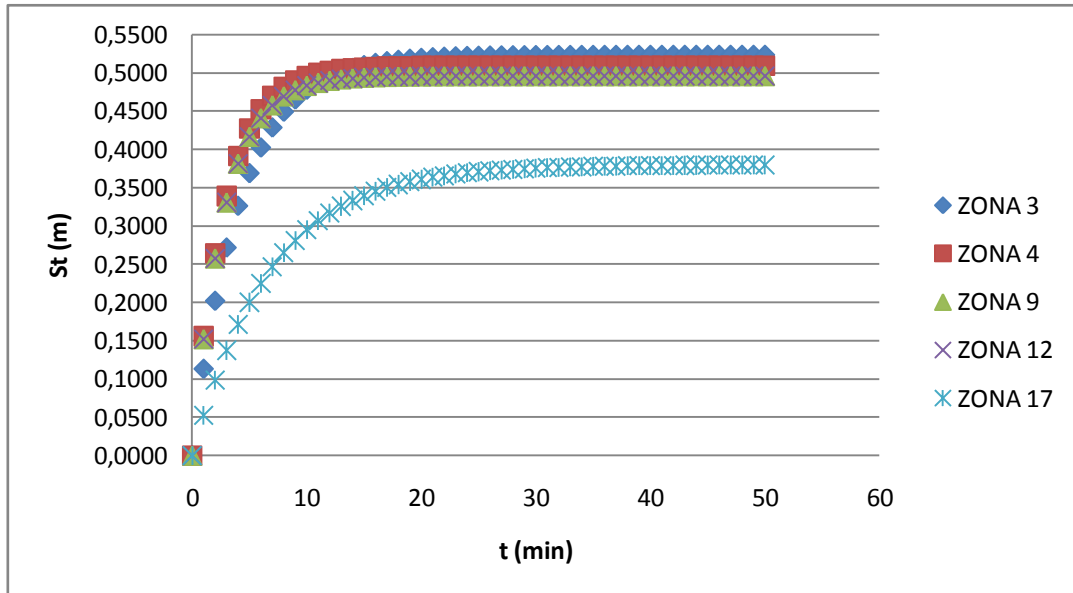
**Tabel 4.27** Tabel *Time scale* dan Laju Propagasi *Scouring* pada Zona 12

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	T* (s)	T (min)	Sdmax (m)	St (t=1 min) (m)	St (t=2 min) (m)	St (t=3 min) (m)	St (t=T) (m)	
	KP	KP					(m)	(m)	(m)	(m)	
1	100.187	100.218	54.400	0.0031	163.73	2.73	0.4958	0.1521	0.2576	0.3306	0.3134
2	100.220	100.255	53.600	0.0032	165.88	2.76	0.4959	0.1505	0.2553	0.3283	0.3134
3	100.312	100.349	52.700	0.0032	168.30	2.80	0.4960	0.1487	0.2529	0.3258	0.3135
4	107.818	107.832	68.500	0.0024	126.72	2.11	0.4951	0.1867	0.3030	0.3755	0.3129
5	109.012	109.030	79.100	0.0020	102.83	1.71	0.4949	0.2188	0.3408	0.4089	0.3128

**Tabel 4.28** Tabel *Time scale* dan Laju Propagasi *Scouring* pada Zona 17

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d	T*	T	T	Sdmax	St (t=1 min)	St (t=2 min)	St (t=3 min)	St (t=T)
	KP	KP	(m)		(s)	(min)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	141.881	141.884	23.300	0.0076	400.41	6.67	0.3800	0.0529	0.0984	0.1376	0.2402
2	143.667	143.715	23.000	0.0076	399.58	6.66	0.3802	0.0530	0.0986	0.1379	0.2403
3	145.821	145.879	23.600	0.0077	401.18	6.69	0.3800	0.0528	0.0982	0.1374	0.2402
4	145.892	145.923	23.800	0.0077	401.63	6.69	0.3799	0.0527	0.0981	0.1372	0.2402
5	146.730	146.790	22.300	0.0076	397.27	6.62	0.3804	0.0533	0.0992	0.1386	0.2404

Berikut ini diberikan grafik laju propagasi *time scale scouring* dari *initial scouring* pada saat  $t=0$  hingga mencapai tahap *equilibrium* atau pada saat penggerusan berlangsung secara konstan.



**Gambar 4.14** Perkembangan Kedalaman *Scouring* Hingga Mencapai Tahap Keseimbangan

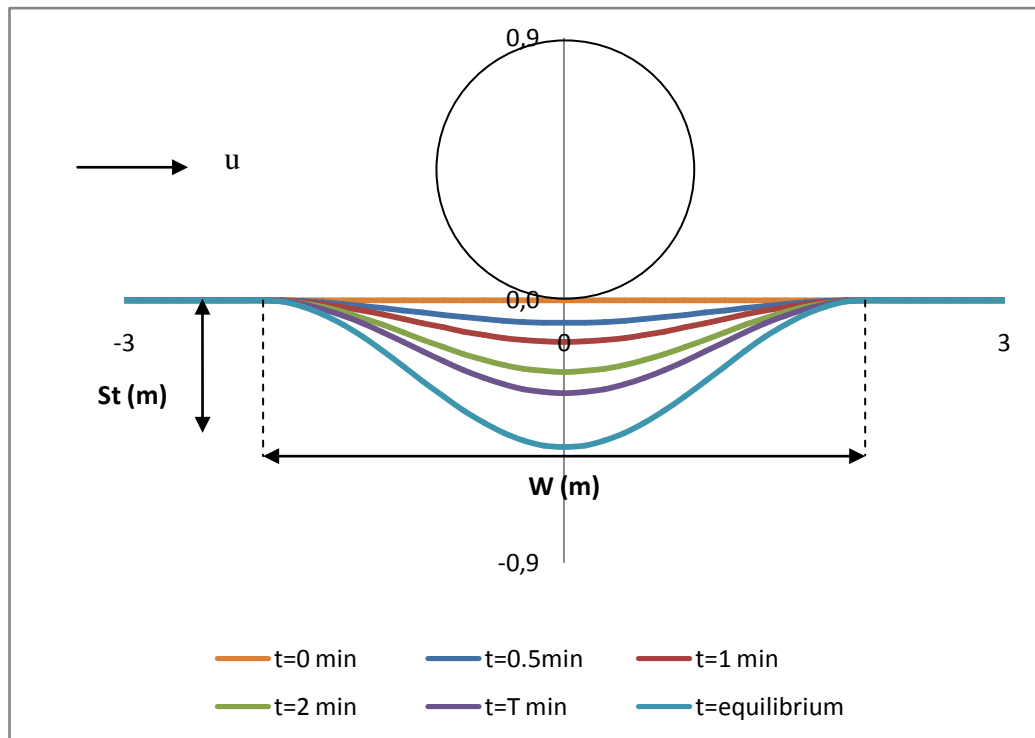
Gambar 4.19 adalah grafik *time scale scouring* dari kondisi *initial scouring* (pada saat belum terjadi penggerusan) hingga mencapai tahap keseimbangan. Tahapan penggerusan hingga mencapai *equilibrium* adalah sebesar 63% dari kedalaman *scouring* maksimum. Awalnya, penggerusan berlangsung secara cepat dan signifikan. Kemudian pada titik tertentu, proses tersebut akan berangsur-angsur tetap dan mencapai kondisi maksimum. Pada kondisi tersebut, *scouring* tidak akan terjadi lagi.

Setelah itu untuk mengetahui kondisi dan bentuk lubang akibat penggerusan, berikut ini diberikan gambar sketsa profil 2D *scouring* pada waktu  $t=0$  menit,  $t=0.5$  menit,  $t=1$  menit,  $t=2$  menit,  $t=T$  menit (63% dari  $S_{dmax}$ ), dan  $t=\text{time of equilibrium}$  ( $S_{dmax}$ ), yaitu pada gambar 4.14 – 4.18. Informasi mengenai *kilometer point* yang ditinjau juga diberikan pada tabel 4.29 – 4.33.

**Tabel 4.29** Tabel Informasi Profil 2D Laju Propagasi *Scouring* Terhadap Waktu  
Pada Zona 3

Start KP	End KP	d (m)	T*	T (min)	St (m)			
					(t=0.5 min)	(t=1 min)	(t=2 min)	(t=T min)
49.239	49.607	43.8	0.0034	2.9988	0.0785	0.1449	0.2488	0.3231

Start KP	End KP	Sdmax (m)	w (m)
49.239	49.607	0.5111	2.1533

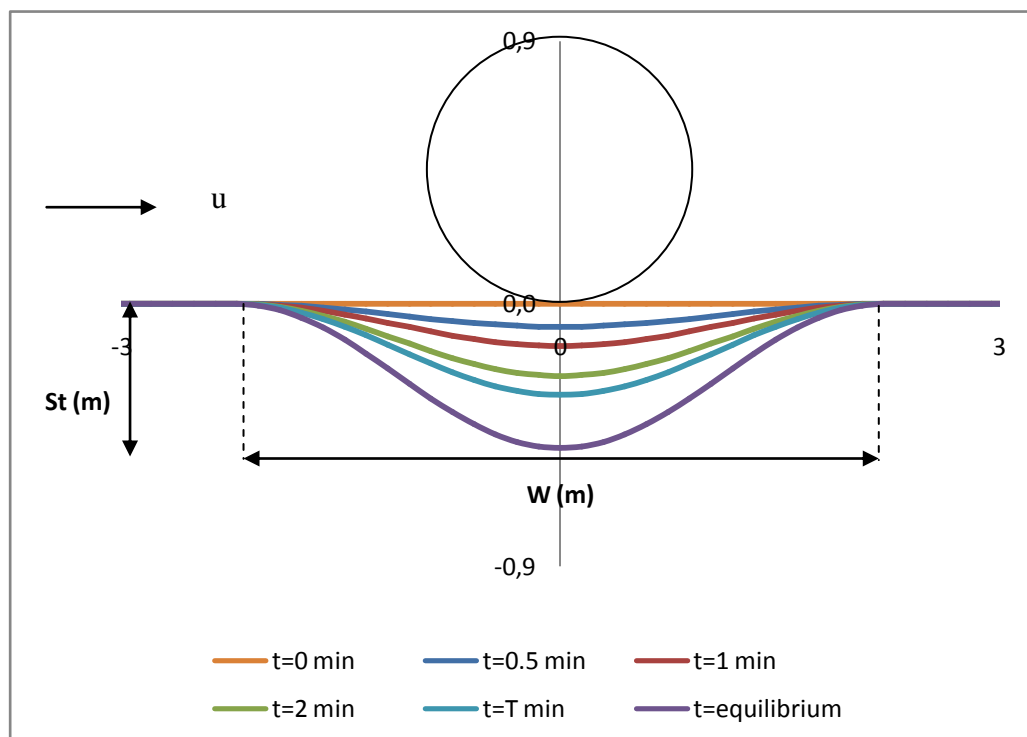


**Gambar 4.15** Sketsa Laju Propagasi *Scouring* Pada Zona 3

**Tabel 4.30** Tabel Informasi Profil 2D Laju Propagasi *Scouring* Terhadap Waktu  
Pada Zona 4

Start KP	End KP	d (m)	T*	T (min)	St (m)			
					(t=0.5 min)	(t=1 min)	(t=2 min)	(t=T min)
51.174	52.068	53.5	0.0032	2.8875	0.0797	0.1468	0.7070	0.7733

Start KP	End KP	Sdmax (m)	w (m)
51.174	52.068	0.5014	2.2057

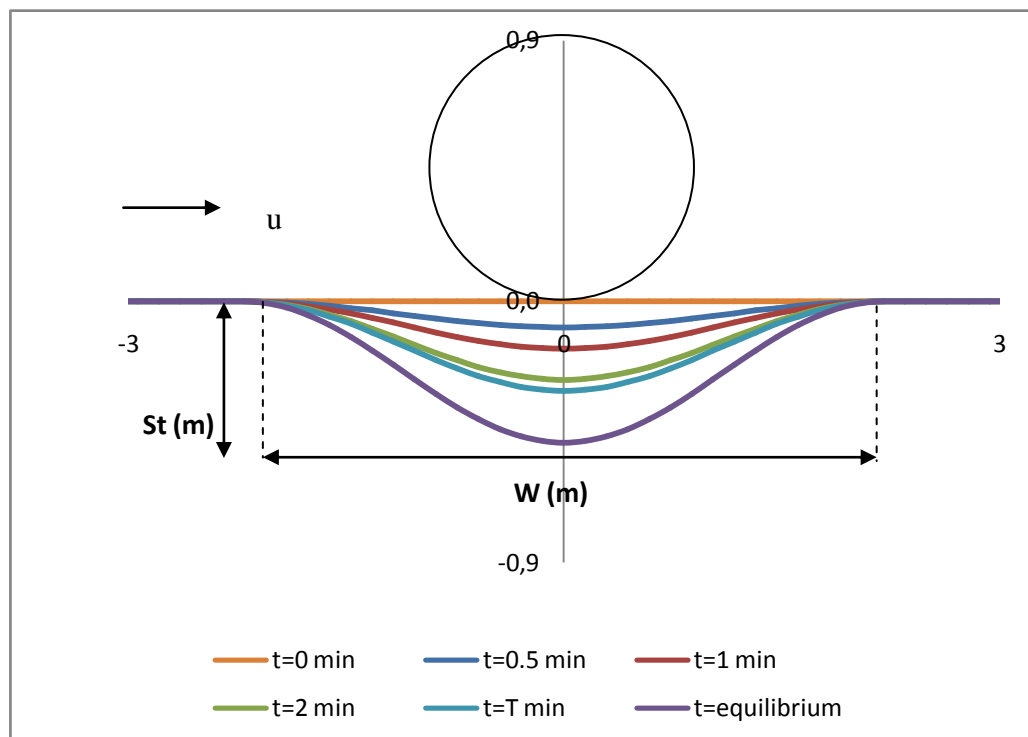


**Gambar 4.16** Sketsa Laju Propagasi *Scouring* Pada Zona 4

**Tabel 4.31** Tabel Informasi Profil 2D Laju Propagasi *Scouring* Terhadap Waktu  
(zona 9)

Start KP	End KP	d (m)	T*	T (min)	St (m)			
					(t=0.5 min)	(t=1 min)	(t=2 min)	(t=T min)
69.295	70.800	60.7	0.0028	2.4683	0.0904	0.1642	0.2737	0.3116

Start KP	End KP	Sdmax (m)	w (m)
69.295	70.800	0.4930	2.2050

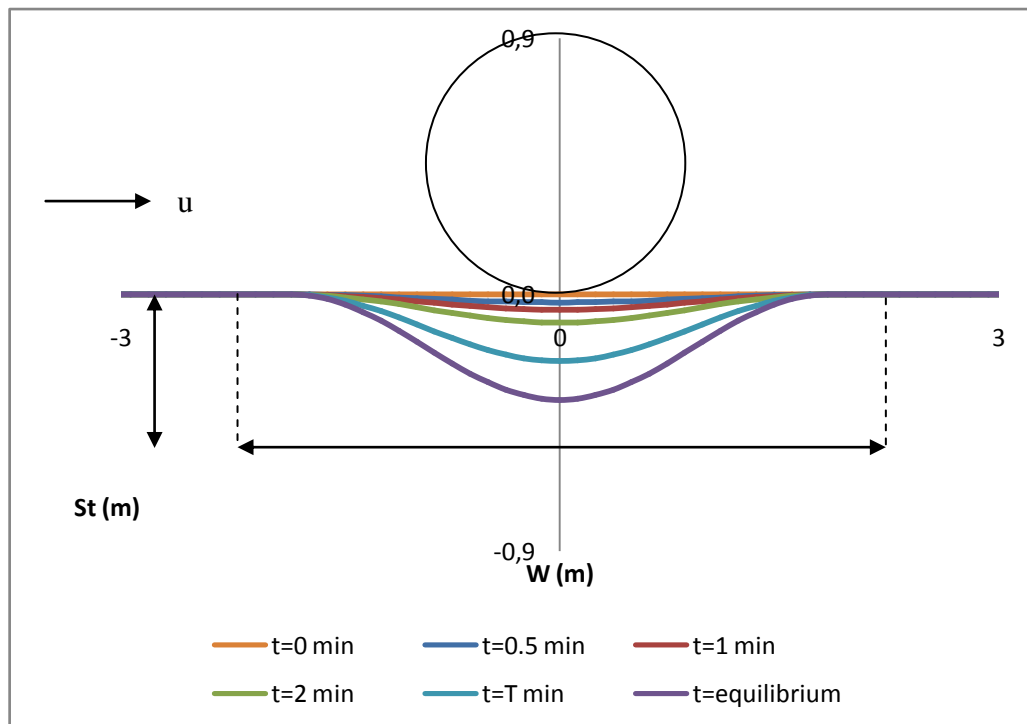


**Gambar 4.17** Sketsa Laju Propagasi *Scouring* Pada Zona 9

**Tabel 4.32** Tabel Informasi Profil 2D Laju Propagasi *Scouring* Terhadap Waktu  
(zona 12)

Start KP	End KP	d (m)	T*	T (min)	St (m)			
					(t=0.5 min)	(t=1 min)	(t=2 min)	(t=T min)
140.480	140.508	79.1	0.0034	2.9586	0.0791	0.1460	0.2500	0.3217

Start KP	End KP	Sdmax (m)	w (m)
140.480	140.508	0.5089	2.2072



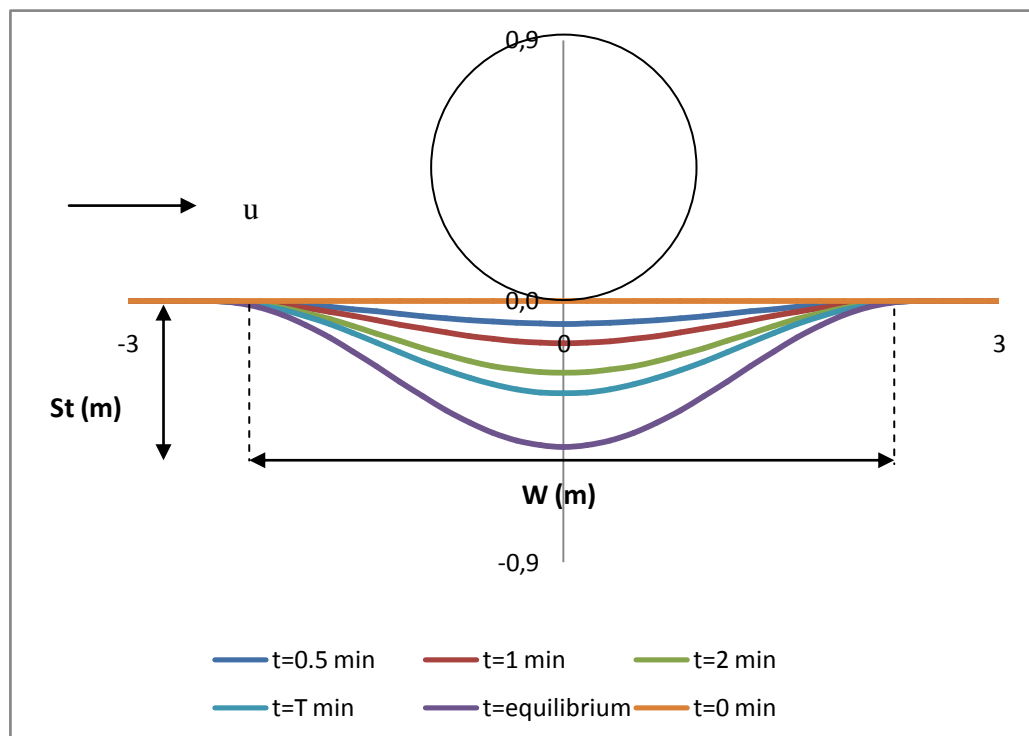
**Gambar 4.18** Sketsa Laju Propagasi *Scouring* Pada Zona 12



**Tabel 4.33** Tabel Informasi Profil 2D Laju Propagasi *Scouring* Terhadap Waktu  
(zona 17)

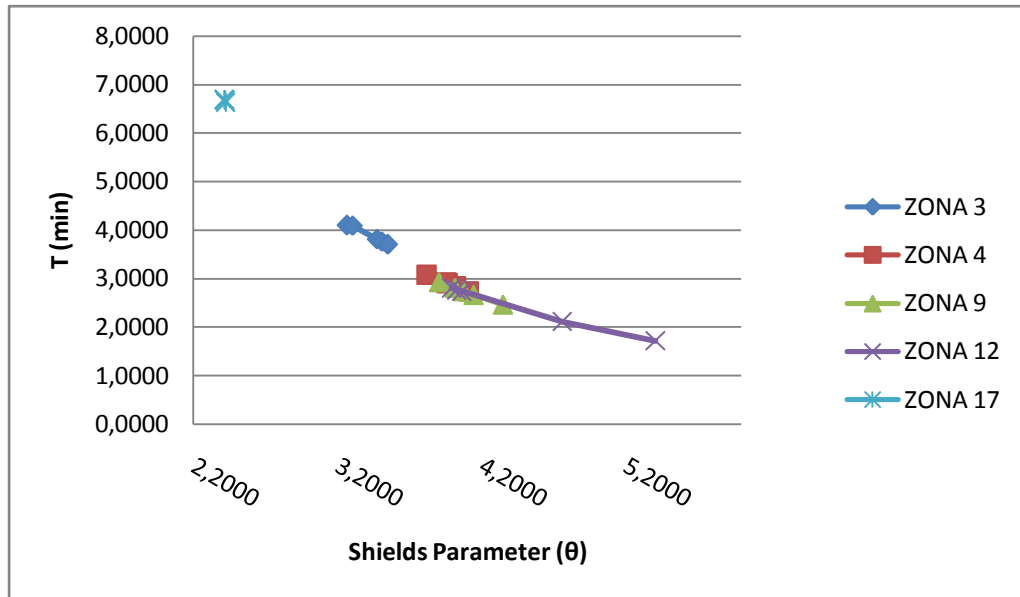
Start KP	End KP	d (m)	T*	T (min)	St (m)			
					(t=0.5 min)	(t=1 min)	(t=2 min)	(t=T min)
142.425	142.479	22.3	0.0074	6.4406	0.0280	0.0538	0.0999	0.2366

Start KP	End KP	Sdmax (m)	w (m)
142.425	142.479	0.3743	1.8334



**Gambar 4.19** Sketsa Laju Propagasi *Scouring* Pada Zona 17

Dari pemodelan laju propagasi *time scale scouring* yang menghasilkan sketsa 2D laju propagasi terhadap waktu, dengan menggunakan bantuan program *Scour.FOR*, dapat diketahui beberapa parameter yang mempengaruhi penggerusan. Parameter tersebut adalah kecepatan penggerak butiran sedimen (Shields Parameter Number). Hubungan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.20 berikut ini.



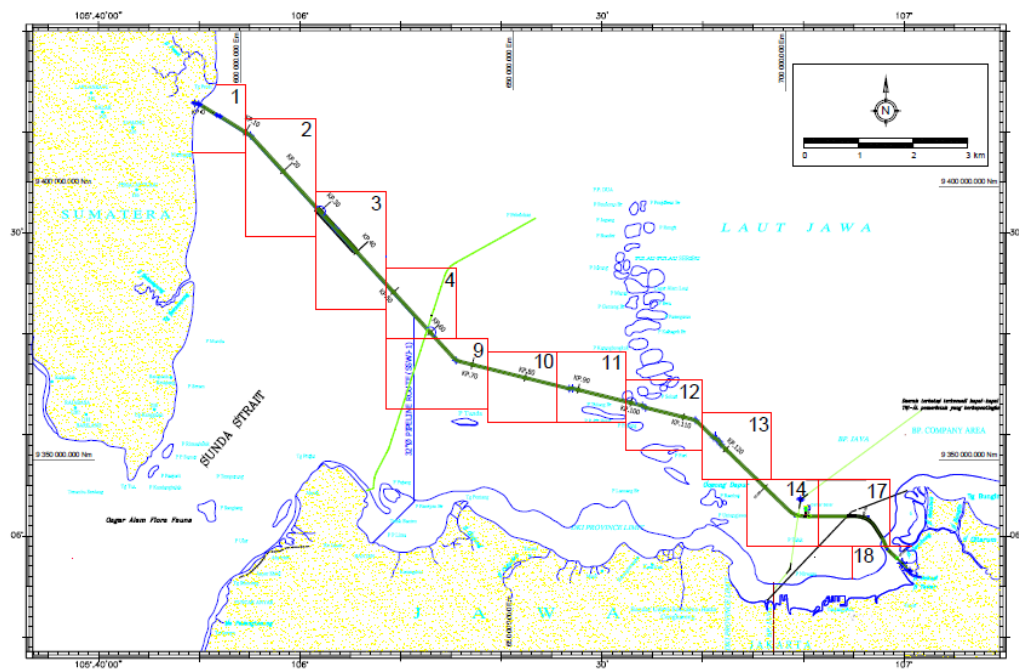
**Gambar 4.20** Grafik Hubungan Antara Shields Parameter dengan *Time scale*

Gambar 4.20 menunjukkan hubungan antara *time scale* dimana *scouring* terjadi hingga tahap 63% menuju kesetimbangan, dengan Shields Parameter Number ( $\theta$ ) yang merupakan kecepatan penggerak sedimen. Seiring dengan meningkatnya nilai Shields Parameter, maka waktu *time scale* akan semakin kecil. Hal tersebut disebabkan karena semakin besar nilai Shields Parameter, semakin banyak laju sedimentasi yang terjadi, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tahapan pembentukan lubang *scour* juga akan semakin pendek.

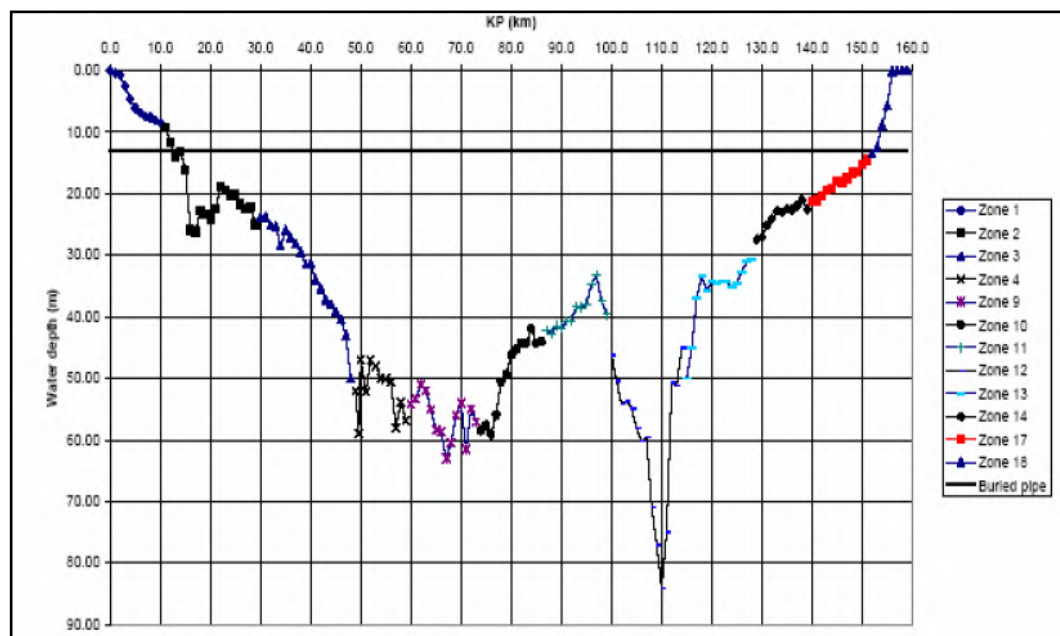
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**LAMPIRAN A**  
Data Umum Pipa

○ Lokasi Pipa SSWJ



**Gambar 1.** Peta Geografis Lokasi Pipa SSWJ Beserta Pembagian Zona KP



**Gambar 2.** Profil Kedalaman Rute Pipa SSWJ

## **LAMPIRAN B**

### **Perhitungan Teori Gelombang Tiap Zona**

**Tabel 1.** Teori Gelombang Zona 3

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	Hs (m)	Ts (s)	H/gT <sup>2</sup>	d/gT <sup>2</sup>	wave theory
	KP	KP						
1	37.534	37.55	28.3	4.49	8.55	0.0063	0.0395	2nd orde Stokes
2	41.561	41.592	34.5	4.49	8.55	0.0063	0.0481	
3	46.072	46.1	41.6	4.49	8.55	0.0063	0.0580	
4	47.038	47.07	42.7	4.49	8.55	0.0063	0.0595	
5	47.214	47.344	43.8	4.49	8.55	0.0063	0.0611	

**Tabel 2.** Teori Gelombang Zona 4

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	Hs (m)	Ts (s)	H/gT <sup>2</sup>	d/gT <sup>2</sup>	wave theory
	KP	KP						
1	49.239	49.607	55.6	4.98	9.00	0.0063	0.0700	2nd orde Stokes
2	50.043	50.166	48.0	4.98	9.00	0.0063	0.0604	
3	50.394	50.598	52.0	4.98	9.00	0.0063	0.0654	
4	50.793	51.001	51.8	4.98	9.00	0.0063	0.0652	
5	50.973	51.141	53.5	4.98	9.00	0.0063	0.0673	

**Tabel 3.** Teori Gelombang Zona 9

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	Hs (m)	Ts (s)	H/gT <sup>2</sup>	d/gT <sup>2</sup>	wave theory
	KP	KP						
1	59.541	60.142	56.3	4.98	9.00	0.0063	0.0709	2nd orde Stokes
2	60.353	60.526	53.2	4.98	9.00	0.0063	0.0670	
3	62.636	63.014	50.4	4.98	9.00	0.0063	0.0634	
4	63.897	65.502	54.7	4.98	9.00	0.0063	0.0688	
5	67.832	69.327	60.7	4.98	9.00	0.0063	0.0764	

**Tabel 4.** Teori Gelombang Zona 12

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	Hs (m)	Ts (s)	H/gT <sup>2</sup>	d/gT <sup>2</sup>	wave theory
	KP	KP						
1	100.187	100.218	54.4	4.98	9.00	0.0063	0.0685	2nd orde Stokes
2	100.220	100.255	53.6	4.98	9.00	0.0063	0.0675	
3	100.312	100.349	52.7	4.98	9.00	0.0063	0.0663	
4	107.818	107.832	68.5	4.98	9.00	0.0063	0.0862	
5	109.012	109.03	79.1	4.98	9.00	0.0063	0.0995	

**Tabel 5.** Teori Gelombang Zona 17

NO.	START OF SPAN	END OF SPAN	d (m)	Hs (m)	Ts (s)	H/gT <sup>2</sup>	d/gT <sup>2</sup>	wave theory
	KP	KP						
1	141.881	141.884	23.3	3.80	7.88	0.0062	0.0378	3rd orde Stokes
2	143.667	143.715	23.0	3.80	7.88	0.0062	0.0383	
3	145.821	145.879	23.6	3.80	7.88	0.0062	0.0387	
4	145.892	145.923	23.8	3.80	7.88	0.0062	0.0391	
5	146.73	146.790	22.3	3.80	7.88	0.0062	0.0366	



## **LAMPIRAN C**

Perhitungan Iterasi Panjang Gelombang

Tiap Zona

**Tabel 6.** Tabel Iterasi Panjang Gelombang Zona 3

NO.	Start of span	End of span	d (m)	Hs (m)	T <sub>s</sub> (s)	H/gT <sup>2</sup>	d/gT <sup>2</sup>	Lo	iterasi 1	iterasi 2		iterasi 3	
	KP	KP							L1	Lr	Lr	Lr	L3
1	37.534	37.55	28.3	4.49	8.55	0.0063	0.0395	114.04	114.0399	104.5062	109.2730	105.6919	105.0990
2	41.561	41.592	34.5	4.49	8.55	0.0063	0.0481	114.04	114.0399	109.1948	111.6173	109.5825	109.3887
3	46.072	46.1	41.6	4.49	8.55	0.0063	0.0580	114.04	114.0399	111.8791	112.9595	111.9774	111.9283
4	47.038	47.07	42.7	4.49	8.55	0.0063	0.0595	114.04	114.0399	112.1408	113.0904	112.2196	112.1802
5	47.214	47.344	43.8	4.49	8.55	0.0063	0.0611	114.04	114.0399	112.3732	113.2065	112.4362	112.4047

**Tabel 6.** Tabel Iterasi Panjang Gelombang Zona 3 (lanjutan)

NO.	Lo	iterasi 4		iterasi 5		iterasi 6		iterasi 7		iterasi 8		iterasi 9	
		Lr	L4	Lr	L5	Lr	L6	Lr	L7	Lr	L8	Lr	L9
1	114.04	106.1901	106.5602	106.5602	106.3443	106.3882	106.3851	106.3647	106.3907	106.3879	106.3852	106.3879	106.3852
2	114.04	109.7546	109.8988	109.8988	109.8489	109.8600	109.8549	109.8519	109.8561	109.8555	109.8556	109.8558	109.8555
3	114.04	112.0232	112.0648	112.0648	112.0570	112.0588	112.0575	112.0573	112.0577	112.0576	112.0576	112.0576	112.0576
4	114.04	112.2566	112.2904	112.2904	112.2846	112.2860	112.2850	112.2848	112.2851	112.2850	112.2851	112.2851	112.2851
5	114.04	112.4659	112.4934	112.4934	112.4891	112.4901	112.4894	112.4892	112.4894	112.4894	112.4894	112.4894	112.4894

**Tabel 7.** Tabel Iterasi Panjang Gelombang Zona 4

NO.	Start of span	End of span	d (m)	Hs (m)	T <sub>s</sub> (s)	H/gT <sup>2</sup>	d/gT <sup>2</sup>	Lo	iterasi 1	iterasi 2		iterasi 3	
	KP	KP							L1	Lr	Lr	Lr	L3
1	49.239	49.607	55.6	4.98	9.00	0.0063	0.0700	126.36	125.5272	125.9436	125.5452	125.5362	125.5627
2	50.043	50.166	48.0	4.98	9.00	0.0063	0.0604	126.36	124.4046	125.3823	124.4816	124.4431	124.5541
3	50.394	50.598	52.0	4.98	9.00	0.0063	0.0654	126.36	125.0980	125.7290	125.1345	125.1163	125.1694
4	50.793	51.001	51.8	4.98	9.00	0.0063	0.0652	126.36	125.0694	125.7147	125.1073	125.0884	125.1435
5	50.973	51.141	53.5	4.98	9.00	0.0063	0.0673	126.36	125.2954	125.8277	125.3228	125.3091	125.3491

**Tabel 7.** Tabel Iterasi Panjang Gelombang Zona 4 (lanjutan)

NO.	Lo	iterasi 4		iterasi 5		iterasi 6		iterasi 7		iterasi 8	
		Lr	L4	Lr	L5	Lr	L6	Lr	L7	Lr	L8
1	126.36	125.5540	125.5620	125.5624	125.5616	125.5618	125.5616	125.5616	125.5617	125.5617	125.5617
2	126.36	124.5179	124.5484	124.5512	124.5458	124.5471	124.5461	124.5460	124.5462	124.5462	124.5462
3	126.36	125.1519	125.1674	125.1684	125.1664	125.1669	125.1665	125.1665	125.1665	125.1665	125.1665
4	126.36	125.1254	125.1414	125.1425	125.1404	125.1409	125.1405	125.1405	125.1405	125.1405	125.1405
5	126.36	125.3359	125.3477	125.3484	125.3471	125.3474	125.3471	125.3471	125.3471	125.3471	125.3471

**Tabel 8.** Tabel Iterasi Panjang Gelombang Zona 9

NO.	Start of span	End of span	d (m)	H <sub>s</sub> (m)	T <sub>s</sub> (s)	H/gT <sup>2</sup>	d/gT <sup>2</sup>	Lo	iterasi 1	iterasi 2		iterasi 3	
	KP	KP							L1	Lr	Lr	Lr	L3
1	59.541	60.142	56.3	4.98	9.00	0.0063	0.0709	126.36	125.5943	125.9772	125.6100	125.6022	125.6253
2	60.353	60.526	53.2	4.98	9.00	0.0063	0.0670	126.36	125.2583	125.8091	125.2872	125.2727	125.3150
3	62.636	63.014	50.4	4.98	9.00	0.0063	0.0634	126.36	124.8528	125.6064	124.9021	124.8775	124.9490
4	63.897	65.502	54.7	4.98	9.00	0.0063	0.0688	126.36	125.4337	125.8968	125.4553	125.4445	125.4762
5	67.832	69.327	60.7	4.98	9.00	0.0063	0.0764	126.36	125.9251	126.1425	125.9313	125.9282	125.9375

**Tabel 8.** Tabel Iterasi Panjang Gelombang Zona 9 (lanjutan)

NO.	Lo	iterasi 4		iterasi 5		iterasi 6	
		Lr	L4	Lr	L5	Lr	L6
1	126.36	125.6177	125.6247	125.6250	125.6244	125.6245	125.6244
2	126.36	125.3011	125.3136	125.3143	125.3129	125.3132	125.3130
3	126.36	124.9256	124.9460	124.9475	124.9446	124.9453	124.9447
4	126.36	125.4657	125.4752	125.4757	125.4747	125.4750	125.4748
5	126.36	125.9344	125.9373	125.9374	125.9372	125.9372	125.9372

**Tabel 9.** Tabel Iterasi Panjang Gelombang Zona 12

NO.	Start of span	End of span	d (m)	H <sub>s</sub> (m)	T <sub>s</sub> (s)	H/gT <sup>2</sup>	d/gT <sup>2</sup>	Lo	iterasi 1	iterasi 2		iterasi 3	
	KP	KP							L1	Lr	Lr	Lr	L3
1	100.187	100.218	54.4	4.98	9.00	0.0063	0.0685	126.36	125.4006	125.8803	125.4236	125.4121	125.4457
2	100.220	100.255	53.6	4.98	9.00	0.0063	0.0675	126.36	125.3076	125.8338	125.3344	125.3210	125.3602
3	100.312	100.349	52.7	4.98	9.00	0.0063	0.0663	126.36	125.1938	125.7769	125.2257	125.2097	125.2563
4	107.818	107.832	68.5	4.98	9.00	0.0063	0.0862	126.36	126.2512	126.3056	126.2520	126.2516	126.2528
5	109.012	109.03	79.1	4.98	9.00	0.0063	0.0995	126.36	126.4329	126.3964	126.4327	126.4328	126.4324

**Tabel 9.** Tabel Iterasi Panjang Gelombang Zona 12 (lanjutan)

NO.	Lo	iterasi 4		iterasi 5		iterasi 6	
		Lr	L4	Lr	L5	Lr	L6
1	126.36	125.4346	125.4446	125.4452	125.4441	125.4444	125.4442
2	126.36	125.3473	125.3589	125.3595	125.3583	125.3586	125.3583
3	126.36	125.2410	125.2546	125.2554	125.2538	125.2542	125.2539
4	126.36	126.2524	126.2528	126.2528	126.2528	126.2528	126.2528
5	126.36	126.4325	126.4324	126.4324	126.4324	126.4324	126.4324

**Tabel 10** Tabel Iterasi Panjang Gelombang Zona 17

NO.	Start of span	End of span	d (m)	H <sub>s</sub> (m)	T <sub>s</sub> (s)	H/gT <sup>2</sup>	d/gT <sup>2</sup>	Lo	iterasi 1	iterasi 2		iterasi 3	
	KP	KP							L1	Lr	Lr	Lr	L3
1	141.881	141.884	23.3	3.80	7.88	0.0062	0.0378	96.87	0.06	0.9035	97.84	19.76	89.3449
2	143.667	143.715	23.0	3.80	7.88	0.0062	0.0383	96.87	0.06	0.9070	105.71	21.54	89.6731
3	145.821	145.879	23.6	3.80	7.88	0.0062	0.0387	96.87	0.06	0.9104	114.22	23.46	89.9902
4	145.892	145.923	23.8	3.80	7.88	0.0062	0.0391	96.87	0.06	0.9126	120.28	24.84	90.1956
5	146.720	146.730	22.3	3.80	7.88	0.0062	0.0366	96.87	0.06	0.8948	81.68	16.15	88.5345

**Tabel 10** Tabel Iterasi Panjang Gelombang Zona 17 (lanjutan)

NO.	Lo	iterasi 4		iterasi 5		iterasi 6		iterasi 7		iterasi 8	
		Lr	L4	Lr	L5	Lr	L6	Lr	L7	Lr	L8
1	96.87	89.5632	89.6343	89.6376	89.6310	89.6326	89.6312	89.6311	89.6313	89.6312	89.6313
2	96.87	89.8793	89.9464	89.9495	89.9434	89.9449	89.9436	89.9435	89.9436	89.9436	89.9436
3	96.87	90.1851	90.2485	90.2513	90.2456	90.2470	90.2458	90.2457	90.2458	90.2458	90.2458
4	96.87	90.3834	90.4443	90.4470	90.4416	90.4429	90.4417	90.4417	90.4418	90.4418	90.4418
5	96.87	88.7835	88.8651	88.8690	88.8611	88.8631	88.8614	88.8612	88.8614	88.8614	88.8614

## **LAMPIRAN D**

*Output* Pemodelan Laju Propagasi *Scouring*

**Tabel 11.** Laju Propagasi Scouring Zona 3

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)	H (300%)	H (5 m)	H (10 m)
1	-4.3065	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
2	-4.1630	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
3	-4.0194	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
4	-3.8759	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
5	-3.7323	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
6	-3.5888	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
7	-3.4452	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
8	-3.3017	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
9	-3.1581	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
10	-3.0146	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
11	-2.8710	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
12	-2.7275	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
13	-2.5839	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
14	-2.4404	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
15	-2.2968	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
16	-2.1533	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
17	-2.0097	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
18	-1.8662	-0.4611	-0.6866	-0.9145	-1.3704	-2.2827	-3.1951	-5.4565	-10.4564
19	-1.7226	-0.4761	-0.6929	-0.9199	-1.3743	-2.2847	-3.1963	-5.4567	-10.4564
20	-1.5791	-0.5008	-0.7032	-0.9287	-1.3808	-2.2882	-3.1981	-5.4571	-10.4564
21	-1.4355	-0.5338	-0.7170	-0.9405	-1.3894	-2.2927	-3.2005	-5.4576	-10.4564
22	-1.2920	-0.5735	-0.7336	-0.9547	-1.3998	-2.2983	-3.2034	-5.4582	-10.4565
23	-1.1484	-0.6179	-0.7522	-0.9706	-1.4113	-2.3044	-3.2067	-5.4589	-10.4565
24	-1.0049	-0.6648	-0.7719	-0.9873	-1.4236	-2.3109	-3.2102	-5.4596	-10.4565
25	-0.8613	-0.7117	-0.7915	-1.0041	-1.4358	-2.3174	-3.2137	-5.4603	-10.4565
26	-0.7178	-0.7563	-0.8102	-1.0201	-1.4474	-2.3236	-3.2169	-5.4610	-10.4565
27	-0.5742	-0.7964	-0.8270	-1.0344	-1.4579	-2.3292	-3.2199	-5.4617	-10.4566
28	-0.4307	-0.8298	-0.8410	-1.0464	-1.4666	-2.3338	-3.2224	-5.4622	-10.4566
29	-0.2871	-0.8550	-0.8515	-1.0554	-1.4732	-2.3373	-3.2242	-5.4626	-10.4566
30	-0.1436	-0.8707	-0.8581	-1.061	-1.4773	-2.3395	-3.2254	-5.4628	-10.4566
31	0.0000	-0.8760	-0.8603	-1.0629	-1.4787	-2.3402	-3.2258	-5.4629	-10.4566
32	0.1436	-0.8707	-0.8581	-1.061	-1.4773	-2.3395	-3.2254	-5.4628	-10.4566
33	0.2871	-0.8550	-0.8515	-1.0554	-1.4732	-2.3373	-3.2242	-5.4626	-10.4566
34	0.4307	-0.8298	-0.8410	-1.0464	-1.4666	-2.3338	-3.2224	-5.4622	-10.4566
35	0.5742	-0.7964	-0.8270	-1.0344	-1.4579	-2.3292	-3.2199	-5.4617	-10.4566
36	0.7178	-0.7563	-0.8102	-1.0201	-1.4474	-2.3236	-3.2169	-5.4610	-10.4565
37	0.8613	-0.7117	-0.7915	-1.0041	-1.4358	-2.3174	-3.2137	-5.4603	-10.4565
38	1.0049	-0.6648	-0.7719	-0.9873	-1.4236	-2.3109	-3.2102	-5.4596	-10.4565
39	1.1484	-0.6179	-0.7522	-0.9706	-1.4113	-2.3044	-3.2067	-5.4589	-10.4565



**Tabel 11.** Laju Propagasi Scouring Zona 3 (lanjutan)

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)	H (300%)	H (5 m)	H (10 m)
40	1.2920	-0.5735	-0.7336	-0.9547	-1.3998	-2.2983	-3.2034	-5.4582	-10.4565
41	1.4355	-0.5338	-0.7170	-0.9405	-1.3894	-2.2927	-3.2005	-5.4576	-10.4564
42	1.5791	-0.5008	-0.7032	-0.9287	-1.3808	-2.2882	-3.1981	-5.4571	-10.4564
43	1.7226	-0.4761	-0.6929	-0.9199	-1.3743	-2.2847	-3.1963	-5.4567	-10.4564
44	1.8662	-0.4611	-0.6866	-0.9145	-1.3704	-2.2827	-3.1951	-5.4565	-10.4564
45	2.0097	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
46	2.1533	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
47	2.2968	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
48	2.4404	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
49	2.5839	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
50	2.7275	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
51	2.8710	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
52	3.0146	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
53	3.1581	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
54	3.3017	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
55	3.4452	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
56	3.5888	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
57	3.7323	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
58	3.8759	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
59	4.0194	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
60	4.1630	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
61	4.3065	-0.4564	-0.6846	-0.4564	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564

*Catatan :  $h(x)$  dihitung dari setengah diameter pipa menuju  $S_{dmax}$*

**Tabel 12.** Laju Propagasi Scouring Zona 4

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)	H (300%)	H (5 m)	H (10 m)
1	-4.4115	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
2	-4.2645	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
3	-4.1174	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
4	-3.9704	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
5	-3.8233	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
6	-3.6763	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
7	-3.5292	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
8	-3.3822	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
9	-3.2351	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
10	-3.0881	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
11	-2.9410	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
12	-2.7940	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
13	-2.6469	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
14	-2.4999	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
15	-2.3528	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
16	-2.2058	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
17	-2.0587	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
18	-1.9117	-0.4585	-0.6855	-0.9136	-1.3698	-2.2823	-3.1950	-5.4564	-10.4564
19	-1.7646	-0.471	-0.6908	-0.9181	-1.373	-2.2840	-3.1959	-5.4566	-10.4564
20	-1.6176	-0.494	-0.7005	-0.9264	-1.3791	-2.2873	-3.1976	-5.457	-10.4564
21	-1.4705	-0.5263	-0.7142	-0.9381	-1.3876	-2.2918	-3.2000	-5.4575	-10.4564
22	-1.3235	-0.5663	-0.7311	-0.9525	-1.3982	-2.2974	-3.2030	-5.4581	-10.4565
23	-1.1764	-0.6119	-0.7503	-0.9689	-1.4101	-2.3038	-3.2064	-5.4588	-10.4565
24	-1.0294	-0.6605	-0.7709	-0.9865	-1.423	-2.3106	-3.2100	-5.4596	-10.4565
25	-0.8823	-0.7096	-0.7916	-1.0042	-1.4359	-2.3175	-3.2137	-5.4604	-10.4565
26	-0.7353	-0.7566	-0.8115	-1.0212	-1.4483	-2.3241	-3.2172	-5.4611	-10.4565
27	-0.5882	-0.799	-0.8295	-1.0365	-1.4595	-2.3300	-3.2203	-5.4618	-10.4566
28	-0.4412	-0.8346	-0.8445	-1.0494	-1.4688	-2.3350	-3.2230	-5.4623	-10.4566
29	-0.2941	-0.8615	-0.8559	-1.0591	-1.4759	-2.3388	-3.2250	-5.4627	-10.4566
30	-0.1471	-0.8782	-0.8629	-1.0651	-1.4803	-2.3411	-3.2263	-5.463	-10.4566
31	0.0000	-0.8839	-0.8653	-1.0672	-1.4818	-2.3419	-3.2267	-5.4631	-10.4566
32	0.1471	-0.8782	-0.8629	-1.0651	-1.4803	-2.3411	-3.2263	-5.463	-10.4566
33	0.2941	-0.8615	-0.8559	-1.0591	-1.4759	-2.3388	-3.2250	-5.4627	-10.4566
34	0.4412	-0.8346	-0.8445	-1.0494	-1.4688	-2.3350	-3.2230	-5.4623	-10.4566
35	0.5882	-0.799	-0.8295	-1.0365	-1.4595	-2.3300	-3.2203	-5.4618	-10.4566
36	0.7353	-0.7566	-0.8115	-1.0212	-1.4483	-2.3241	-3.2172	-5.4611	-10.4565
37	0.8823	-0.7096	-0.7916	-1.0042	-1.4359	-2.3175	-3.2137	-5.4604	-10.4565
38	1.0294	-0.6605	-0.7709	-0.9865	-1.423	-2.3106	-3.2100	-5.4596	-10.4565
39	1.1764	-0.6119	-0.7503	-0.9689	-1.4101	-2.3038	-3.2064	-5.4588	-10.4565

**Tabel 12.** Laju Propagasi Scouring Zona 4 (lanjutan)

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)	H (300%)	H (5 m)	H (10 m)
40	1.3235	-0.5663	-0.7311	-0.9525	-1.3982	-2.2974	-3.2030	-5.4581	-10.4565
41	1.4705	-0.5263	-0.7142	-0.9381	-1.3876	-2.2918	-3.2000	-5.4575	-10.4564
42	1.6176	-0.494	-0.7005	-0.9264	-1.3791	-2.2873	-3.1976	-5.457	-10.4564
43	1.7646	-0.471	-0.6908	-0.9181	-1.373	-2.2840	-3.1959	-5.4566	-10.4564
44	1.9117	-0.4585	-0.6855	-0.9136	-1.3698	-2.2823	-3.1950	-5.4564	-10.4564
45	2.0587	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
46	2.2058	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
47	2.3528	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
48	2.4999	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
49	2.6469	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
50	2.7940	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
51	2.9410	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
52	3.0881	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
53	3.2351	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
54	3.3822	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
55	3.5292	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
56	3.6763	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
57	3.8233	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
58	3.9704	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
59	4.1174	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
60	4.2645	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
61	4.4115	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564

*Catatan :  $h(x)$  dihitung dari setengah diameter pipa menuju  $S_{dmax}$ .*

**Tabel 13.** Hasil Pemodelan Numerik Lubang *Scour* Zona 9

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)	H (300%)	H (5 m)	H (10 m)
1	-4.4099	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
2	-4.2630	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
3	-4.1160	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
4	-3.9690	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
5	-3.8220	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
6	-3.6750	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
7	-3.5280	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
8	-3.3810	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
9	-3.2340	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
10	-3.0870	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
11	-2.9400	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
12	-2.7930	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
13	-2.6460	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
14	-2.4990	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
15	-2.3520	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
16	-2.2050	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
17	-2.0580	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
18	-1.9110	-0.4585	-0.6855	-0.9136	-1.3698	-2.2823	-3.1950	-5.4564	-10.4564
19	-1.7640	-0.471	-0.6908	-0.9181	-1.3731	-2.2840	-3.1959	-5.4566	-10.4564
20	-1.6170	-0.4941	-0.7005	-0.9264	-1.3791	-2.2873	-3.1976	-5.4570	-10.4564
21	-1.4700	-0.5265	-0.7142	-0.9381	-1.3877	-2.2918	-3.2000	-5.4575	-10.4564
22	-1.3230	-0.5665	-0.7311	-0.9525	-1.3982	-2.2974	-3.2030	-5.4581	-10.4565
23	-1.1760	-0.612	-0.7504	-0.969	-1.4102	-2.3038	-3.2064	-5.4588	-10.4565
24	-1.0290	-0.6605	-0.7709	-0.9865	-1.423	-2.3106	-3.2100	-5.4596	-10.4565
25	-0.8820	-0.7096	-0.7916	-1.0042	-1.4359	-2.3175	-3.2137	-5.4604	-10.4565
26	-0.7350	-0.7566	-0.8115	-1.0212	-1.4483	-2.3241	-3.2172	-5.4611	-10.4565
27	-0.5880	-0.799	-0.8294	-1.0365	-1.4594	-2.3300	-3.2203	-5.4617	-10.4566
28	-0.4410	-0.8346	-0.8445	-1.0493	-1.4688	-2.3350	-3.2230	-5.4623	-10.4566
29	-0.2940	-0.8614	-0.8558	-1.059	-1.4759	-2.3388	-3.2250	-5.4627	-10.4566
30	-0.1470	-0.8781	-0.8629	-1.0651	-1.4803	-2.3411	-3.2262	-5.4630	-10.4566
31	0.0000	-0.8838	-0.8653	-1.0671	-1.4818	-2.3419	-3.2267	-5.4631	-10.4566
32	0.1470	-0.8781	-0.8629	-1.0651	-1.4803	-2.3411	-3.2262	-5.4630	-10.4566
33	0.2940	-0.8614	-0.8558	-1.059	-1.4759	-2.3388	-3.2250	-5.4627	-10.4566
34	0.4410	-0.8346	-0.8445	-1.0493	-1.4688	-2.3350	-3.2230	-5.4623	-10.4566
35	0.5880	-0.799	-0.8294	-1.0365	-1.4594	-2.3300	-3.2203	-5.4617	-10.4566
36	0.7350	-0.7566	-0.8115	-1.0212	-1.4483	-2.3241	-3.2172	-5.4611	-10.4565
37	0.8820	-0.7096	-0.7916	-1.0042	-1.4359	-2.3175	-3.2137	-5.4604	-10.4565
38	1.0290	-0.6605	-0.7709	-0.9865	-1.423	-2.3106	-3.2100	-5.4596	-10.4565
39	1.1760	-0.612	-0.7504	-0.969	-1.4102	-2.3038	-3.2064	-5.4588	-10.4565

**Tabel 13.** Hasil Pemodelan Numerik Lubang *Scour* Zona 9 (lanjutan)

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)	H (300%)	H (5 m)	H (10 m)
40	1.3230	-0.5665	-0.7311	-0.9525	-1.3982	-2.2974	-3.2030	-5.4581	-10.4565
41	1.4700	-0.5265	-0.7142	-0.9381	-1.3877	-2.2918	-3.2000	-5.4575	-10.4564
42	1.6170	-0.4941	-0.7005	-0.9264	-1.3791	-2.2873	-3.1976	-5.4570	-10.4564
43	1.7640	-0.471	-0.6908	-0.9181	-1.3731	-2.2840	-3.1959	-5.4566	-10.4564
44	1.9110	-0.4585	-0.6855	-0.9136	-1.3698	-2.2823	-3.1950	-5.4564	-10.4564
45	2.0580	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
46	2.2050	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
47	2.3520	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
48	2.4990	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
49	2.6460	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
50	2.7930	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
51	2.9400	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
52	3.0870	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
53	3.2340	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
54	3.3810	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
55	3.5280	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
56	3.6750	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
57	3.8220	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
58	3.9690	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
59	4.1160	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
60	4.2630	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
61	4.4100	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564

*Catatan :  $h(x)$  dihitung dari setengah diameter pipa menuju  $S_{dmax}$ .*

**Tabel 14.** Laju Propagasi Scouring Zona 12

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)	H (300%)	H (5 m)	H (10 m)
1	-4.4143	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
2	-4.2671	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
3	-4.1200	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
4	-3.9729	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
5	-3.8257	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
6	-3.6786	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
7	-3.5314	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
8	-3.3843	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
9	-3.2371	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
10	-3.0900	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
11	-2.9429	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
12	-2.7957	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
13	-2.6486	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
14	-2.5014	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
15	-2.3543	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
16	-2.2071	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
17	-2.0600	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
18	-1.9129	-0.4584	-0.6855	-0.9135	-1.3697	-2.2823	-3.1950	-5.4564	-10.4564
19	-1.7657	-0.4708	-0.6907	-0.918	-1.373	-2.2840	-3.1959	-5.4566	-10.4564
20	-1.6186	-0.4938	-0.7004	-0.9263	-1.3791	-2.2872	-3.1976	-5.4570	-10.4564
21	-1.4714	-0.5262	-0.7141	-0.938	-1.3876	-2.2918	-3.2000	-5.4575	-10.4564
22	-1.3243	-0.5662	-0.731	-0.9524	-1.3981	-2.2974	-3.2030	-5.4581	-10.4565
23	-1.1771	-0.6117	-0.7503	-0.9689	-1.4101	-2.3038	-3.2064	-5.4588	-10.4565
24	-1.0300	-0.6603	-0.7709	-0.9865	-1.4229	-2.3106	-3.2100	-5.4596	-10.4565
25	-0.8829	-0.7095	-0.7916	-1.0042	-1.4359	-2.3175	-3.2137	-5.4604	-10.4565
26	-0.7357	-0.7566	-0.8116	-1.0212	-1.4483	-2.3241	-3.2172	-5.4611	-10.4565
27	-0.5886	-0.7991	-0.8295	-1.0366	-1.4595	-2.3300	-3.2204	-5.4618	-10.4566
28	-0.4414	-0.8348	-0.8446	-1.0495	-1.4689	-2.3350	-3.2230	-5.4623	-10.4566
29	-0.2943	-0.8617	-0.856	-1.0592	-1.476	-2.3388	-3.2250	-5.4627	-10.4566
30	-0.1471	-0.8784	-0.8631	-1.0652	-1.4804	-2.3412	-3.2263	-5.4630	-10.4566
31	0.0000	-0.8841	-0.8655	-1.0673	-1.4819	-2.3420	-3.2267	-5.4631	-10.4566
32	0.1471	-0.8784	-0.8631	-1.0652	-1.4804	-2.3412	-3.2263	-5.4630	-10.4566
33	0.2943	-0.8617	-0.856	-1.0592	-1.476	-2.3388	-3.2250	-5.4627	-10.4566
34	0.4414	-0.8348	-0.8446	-1.0495	-1.4689	-2.3350	-3.2230	-5.4623	-10.4566
35	0.5886	-0.7991	-0.8295	-1.0366	-1.4595	-2.3300	-3.2204	-5.4618	-10.4566
36	0.7357	-0.7566	-0.8116	-1.0212	-1.4483	-2.3241	-3.2172	-5.4611	-10.4565
37	0.8829	-0.7095	-0.7916	-1.0042	-1.4359	-2.3175	-3.2137	-5.4604	-10.4565
38	1.0300	-0.6603	-0.7709	-0.9865	-1.4229	-2.3106	-3.2100	-5.4596	-10.4565
39	1.1771	-0.6117	-0.7503	-0.9689	-1.4101	-2.3038	-3.2064	-5.4588	-10.4565

**Tabel 14.** Laju Propagasi Scouring Zona 12 (lanjutan)

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)	H (300%)	H (5 m)	H (10 m)
40	1.3243	-0.5662	-0.731	-0.9524	-1.3981	-2.2974	-3.2030	-5.4581	-10.4565
41	1.4714	-0.5262	-0.7141	-0.938	-1.3876	-2.2918	-3.2000	-5.4575	-10.4564
42	1.6186	-0.4938	-0.7004	-0.9263	-1.3791	-2.2872	-3.1976	-5.4570	-10.4564
43	1.7657	-0.4708	-0.6907	-0.918	-1.373	-2.2840	-3.1959	-5.4566	-10.4564
44	1.9129	-0.4584	-0.6855	-0.9135	-1.3697	-2.2823	-3.1950	-5.4564	-10.4564
45	2.0600	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
46	2.2071	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
47	2.3543	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
48	2.5014	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
49	2.6486	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
50	2.7957	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
51	2.9429	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
52	3.0900	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
53	3.2371	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
54	3.3843	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
55	3.5314	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
56	3.6786	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
57	3.8257	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
58	3.9729	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
59	4.1200	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
60	4.2671	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
61	4.4143	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564

*Catatan :  $h(x)$  dihitung dari setengah diameter pipa menuju  $S_{dmax}$ .*

**Tabel 15.** Laju Propagasi Scouring Zona 17

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)	H (300%)	H (5 m)	H (10 m)
1	-3.6667	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
2	-3.5445	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
3	-3.4223	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
4	-3.3000	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
5	-3.1778	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
6	-3.0556	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
7	-2.9334	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
8	-2.8112	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
9	-2.6889	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
10	-2.5667	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
11	-2.4445	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
12	-2.3223	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
13	-2.2000	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
14	-2.0778	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
15	-1.9556	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
16	-1.8334	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
17	-1.7111	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
18	-1.5889	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
19	-1.4667	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
20	-1.3445	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
21	-1.2222	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
22	-1.1000	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
23	-0.9778	-0.5567	-0.724	-0.9465	-1.3937	-2.2951	-3.2017	-5.4579	-10.4564
24	-0.8556	-0.6012	-0.7415	-0.9614	-1.4046	-2.3008	-3.2048	-5.4585	-10.4565
25	-0.7333	-0.6482	-0.7599	-0.9771	-1.4161	-2.3070	-3.2081	-5.4592	-10.4565
26	-0.6111	-0.6949	-0.7782	-0.9928	-1.4275	-2.3130	-3.2113	-5.4599	-10.4565
27	-0.4889	-0.7380	-0.7952	-1.0073	-1.4381	-2.3187	-3.2143	-5.4605	-10.4565
28	-0.3667	-0.7749	-0.8097	-1.0196	-1.4471	-2.3235	-3.2169	-5.4610	-10.4565
29	-0.2444	-0.8032	-0.8208	-1.0291	-1.454	-2.3271	-3.2188	-5.4614	-10.4566
30	-0.1222	-0.8208	-0.8277	-1.035	-1.4584	-2.3294	-3.2200	-5.4617	-10.4566
31	0.0000	-0.8269	-0.8301	-1.037	-1.4598	-2.3302	-3.2205	-5.4618	-10.4566
32	0.1222	-0.8208	-0.8277	-1.035	-1.4584	-2.3294	-3.2200	-5.4617	-10.4566
33	0.2444	-0.8032	-0.8208	-1.0291	-1.454	-2.3271	-3.2188	-5.4614	-10.4566
34	0.3667	-0.7749	-0.8097	-1.0196	-1.4471	-2.3235	-3.2169	-5.4610	-10.4565
35	0.4889	-0.738	-0.7952	-1.0073	-1.4381	-2.3187	-3.2143	-5.4605	-10.4565
36	0.6111	-0.6949	-0.7782	-0.9928	-1.4275	-2.3130	-3.2113	-5.4599	-10.4565
37	0.7333	-0.6482	-0.7599	-0.9771	-1.4161	-2.3070	-3.2081	-5.4592	-10.4565
38	0.8556	-0.6012	-0.7415	-0.9614	-1.4046	-2.3008	-3.2048	-5.4585	-10.4565
39	0.9778	-0.5567	-0.724	-0.9465	-1.3937	-2.2951	-3.2017	-5.4579	-10.4564



**Tabel 15.** Laju Propagasi Scouring Zona 17 (lanjutan)

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)	H (300%)	H (5 m)	H (10 m)
40	1.1000	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
41	1.2222	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
42	1.3445	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
43	1.4667	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
44	1.5889	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
45	1.7111	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
46	1.8334	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
47	1.9556	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
48	2.0778	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
49	2.2000	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
50	2.3223	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
51	2.4445	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
52	2.5667	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
53	2.6889	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
54	2.8111	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
55	2.9334	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
56	3.0556	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
57	3.1778	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
58	3.3000	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
59	3.4223	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
60	3.5445	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564
61	3.6667	-0.4564	-0.6846	-0.9128	-1.3692	-2.2820	-3.1948	-5.4564	-10.4564

*Catatan :  $h(x)$  dihitung dari setengah diameter pipa menuju  $S_{dmax}$ .*

## **LAMPIRAN E**

*Output Pemodelan Time Scale Scouring*

**Tabel 16.** *Time Scale Scouring Propagation Zona 3*

NO.	X	H (0.5min)	H (1min)	H (2min)	H (T min)	H (eq)
1	-4.1146	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
2	-3.9774	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
3	-3.8403	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
4	-3.7031	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
5	-3.566	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
6	-3.4288	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
7	-3.2917	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
8	-3.1545	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
9	-3.0174	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
10	-2.8802	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
11	-2.7431	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
12	-2.6059	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
13	-2.4688	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
14	-2.3316	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
15	-2.1945	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
16	-2.0573	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
17	-1.9201	-0.4573	-0.4580	-0.4592	-0.4600	-0.4621
18	-1.783	-0.4598	-0.4627	-0.4672	-0.4705	-0.4786
19	-1.6458	-0.4639	-0.4703	-0.4802	-0.4874	-0.5054
20	-1.5087	-0.4694	-0.4804	-0.4977	-0.5100	-0.5412
21	-1.3715	-0.4761	-0.4927	-0.5187	-0.5373	-0.5844
22	-1.2344	-0.4836	-0.5065	-0.5425	-0.5682	-0.6332
23	-1.0972	-0.4916	-0.5214	-0.5679	-0.6012	-0.6854
24	-0.9601	-0.4998	-0.5365	-0.5939	-0.6349	-0.7388
25	-0.8229	-0.5078	-0.5513	-0.6193	-0.6680	-0.7911
26	-0.6858	-0.5153	-0.5651	-0.6430	-0.6988	-0.8398
27	-0.5486	-0.5219	-0.5774	-0.6640	-0.7261	-0.8830
28	-0.4115	-0.5274	-0.5875	-0.6814	-0.7487	-0.9187
29	-0.2743	-0.5315	-0.5951	-0.6944	-0.7655	-0.9454
30	-0.1372	-0.5340	-0.5997	-0.7024	-0.7760	-0.9619
31	0.0000	-0.5349	-0.6013	-0.7052	-0.7795	-0.9675
32	0.1372	-0.5340	-0.5997	-0.7024	-0.7760	-0.9619
33	0.2743	-0.5315	-0.5951	-0.6944	-0.7655	-0.9454
34	0.4115	-0.5274	-0.5875	-0.6814	-0.7487	-0.9187
35	0.5486	-0.5219	-0.5774	-0.6640	-0.7261	-0.8830
36	0.6858	-0.5153	-0.5651	-0.6430	-0.6988	-0.8398
37	0.8229	-0.5078	-0.5513	-0.6193	-0.6680	-0.7911
38	0.9601	-0.4998	-0.5365	-0.5939	-0.6349	-0.7388
39	1.0972	-0.4916	-0.5214	-0.5679	-0.6012	-0.6854

**Tabel 16.** *Time Scale Scouring Propagation Zona 3 (lanjutan)*

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)
40	1.2344	-0.4836	-0.5065	-0.5425	-0.5682	-0.6332
41	1.3715	-0.4761	-0.4927	-0.5187	-0.5373	-0.5844
42	1.5087	-0.4694	-0.4804	-0.4977	-0.5100	-0.5412
43	1.6458	-0.4639	-0.4703	-0.4802	-0.4874	-0.5054
44	1.783	-0.4598	-0.4627	-0.4672	-0.4705	-0.4786
45	1.9201	-0.4573	-0.4580	-0.4592	-0.4600	-0.4621
46	2.0573	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
47	2.1945	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
48	2.3316	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
49	2.4688	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
50	2.6059	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
51	2.7431	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
52	2.8802	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
53	3.0174	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
54	3.1545	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
55	3.2917	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
56	3.4288	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
57	3.566	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
58	3.7031	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
59	3.8403	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
60	3.9774	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
61	4.1146	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564

*Catatan :  $h(t)$  dihitung dari setengah diameter pipa menuju  $S_{dmax}$ .*

**Tabel 17. Time Scale Scouring Propagation Zona 4**

NO.	X	H (0.5min)	H (1min)	H (2min)	H (T min)	H (eq)
1	-4.4200	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
2	-4.2727	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
3	-4.1253	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
4	-3.9780	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
5	-3.8307	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
6	-3.6833	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
7	-3.5360	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
8	-3.3887	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
9	-3.2413	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
10	-3.0940	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
11	-2.9467	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
12	-2.7993	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
13	-2.6520	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
14	-2.5047	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
15	-2.3573	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
16	-2.2100	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
17	-2.0627	0.0000	-0.4573	-0.4580	-0.4592	-0.4599
18	-1.9153	0.0000	-0.4599	-0.4628	-0.4673	-0.4702
19	-1.7680	0.0000	-0.4640	-0.4705	-0.4804	-0.4868
20	-1.6207	0.0000	-0.4696	-0.4807	-0.4980	-0.5090
21	-1.4733	0.0000	-0.4764	-0.4932	-0.5192	-0.5358
22	-1.3260	0.0000	-0.4840	-0.5072	-0.5431	-0.5660
23	-1.1787	0.0000	-0.4921	-0.5222	-0.5687	-0.5984
24	-1.0313	0.0000	-0.5005	-0.5375	-0.5949	-0.6316
25	-0.8840	0.0000	-0.5086	-0.5525	-0.6205	-0.6639
26	-0.7367	0.0000	-0.5162	-0.5665	-0.6444	-0.6942
27	-0.5893	0.0000	-0.5229	-0.5789	-0.6656	-0.7210
28	-0.4420	0.0000	-0.5285	-0.5892	-0.6831	-0.7431
29	-0.2947	0.0000	-0.5327	-0.5968	-0.6962	-0.7597
30	-0.1473	0.0000	-0.5353	-0.6016	-0.7042	-0.7699
31	0.0000	0.0000	-0.5361	-0.6032	-0.7070	-0.7733
32	0.1473	0.0000	-0.5353	-0.6016	-0.7042	-0.7699
33	0.2947	0.0000	-0.5327	-0.5968	-0.6962	-0.7597
34	0.4420	0.0000	-0.5285	-0.5892	-0.6831	-0.7431
35	0.5893	0.0000	-0.5229	-0.5789	-0.6656	-0.7210
36	0.7367	0.0000	-0.5162	-0.5665	-0.6444	-0.6942
37	0.8840	0.0000	-0.5086	-0.5525	-0.6205	-0.6639
38	1.0313	0.0000	-0.5005	-0.5375	-0.5949	-0.6316
39	1.1787	0.0000	-0.4921	-0.5222	-0.5687	-0.5984

**Tabel 17.** *Time Scale Scouring Propagation Zona 4 (lanjutan)*

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)
40	1.3260	0.0000	-0.4840	-0.5072	-0.5431	-0.5660
41	1.4733	0.0000	-0.4764	-0.4932	-0.5192	-0.5358
42	1.6207	0.0000	-0.4696	-0.4807	-0.4980	-0.5090
43	1.7680	0.0000	-0.4640	-0.4705	-0.4804	-0.4868
44	1.9153	0.0000	-0.4599	-0.4628	-0.4673	-0.4702
45	2.0627	0.0000	-0.4573	-0.4580	-0.4592	-0.4599
46	2.2100	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
47	2.3573	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
48	2.5047	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
49	2.6520	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
50	2.7993	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
51	2.9467	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
52	3.0940	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
53	3.2413	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
54	3.3887	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
55	3.5360	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
56	3.6833	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
57	3.8307	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
58	3.9780	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
59	4.1253	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
60	4.2727	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
61	4.4200	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564

*Catatan :  $h(t)$  dihitung dari setengah diameter pipa menuju  $S_{dmax}$ .*

**Tabel 18.** *Time Scale Scouring Propagation Zona 9*

NO.	X	H (0.5min)	H (1min)	H (2min)	H (T min)	H (eq)
1	-4.4026	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
2	-4.2558	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
3	-4.1091	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
4	-3.9623	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
5	-3.8156	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
6	-3.6688	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
7	-3.5221	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
8	-3.3753	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
9	-3.2286	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
10	-3.0818	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
11	-2.9351	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
12	-2.7883	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
13	-2.6416	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
14	-2.4948	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
15	-2.3481	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
16	-2.2013	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
17	-2.0545	0.0000	-0.4574	-0.4582	-0.4594	-0.4599
18	-1.9078	0.0000	-0.4603	-0.4635	-0.4683	-0.4700
19	-1.7610	0.0000	-0.4651	-0.4721	-0.4826	-0.4863
20	-1.6143	0.0000	-0.4714	-0.4836	-0.5018	-0.5081
21	-1.4675	0.0000	-0.4790	-0.4975	-0.5250	-0.5345
22	-1.3208	0.0000	-0.4877	-0.5132	-0.5511	-0.5642
23	-1.1740	0.0000	-0.4969	-0.5300	-0.5791	-0.5961
24	-1.0273	0.0000	-0.5064	-0.5472	-0.6077	-0.6286
25	-0.8805	0.0000	-0.5156	-0.5639	-0.6357	-0.6605
26	-0.7338	0.0000	-0.5242	-0.5796	-0.6618	-0.6902
27	-0.5870	0.0000	-0.5319	-0.5935	-0.6849	-0.7165
28	-0.4403	0.0000	-0.5382	-0.6050	-0.7040	-0.7383
29	-0.2935	0.0000	-0.5429	-0.6135	-0.7183	-0.7546
30	-0.1468	0.0000	-0.5458	-0.6188	-0.7272	-0.7646
31	0.0000	0.0000	-0.5468	-0.6206	-0.7301	-0.7680
32	0.1468	0.0000	-0.5458	-0.6188	-0.7272	-0.7646
33	0.2935	0.0000	-0.5429	-0.6135	-0.7183	-0.7546
34	0.4403	0.0000	-0.5382	-0.6050	-0.7040	-0.7383
35	0.5870	0.0000	-0.5319	-0.5935	-0.6849	-0.7165
36	0.7338	0.0000	-0.5242	-0.5796	-0.6618	-0.6902
37	0.8805	0.0000	-0.5156	-0.5639	-0.6357	-0.6605
38	1.0273	0.0000	-0.5064	-0.5472	-0.6077	-0.6286
39	1.1740	0.0000	-0.4969	-0.5300	-0.5791	-0.5961

**Tabel 18.** *Time Scale Scouring Propagation Zona 9 (lanjutan)*

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)
40	1.3208	0.0000	-0.4877	-0.5132	-0.5511	-0.5642
41	1.4675	0.0000	-0.4790	-0.4975	-0.5250	-0.5345
42	1.6143	0.0000	-0.4714	-0.4836	-0.5018	-0.5081
43	1.7610	0.0000	-0.4651	-0.4721	-0.4826	-0.4863
44	1.9078	0.0000	-0.4603	-0.4635	-0.4683	-0.4700
45	2.0545	0.0000	-0.4574	-0.4582	-0.4594	-0.4599
46	2.2013	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
47	2.3481	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
48	2.4948	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
49	2.6416	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
50	2.7883	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
51	2.9351	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
52	3.0818	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
53	3.2286	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
54	3.3753	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
55	3.5221	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
56	3.6688	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
57	3.8156	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
58	3.9623	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
59	4.1091	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
60	4.2558	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
61	4.4026	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564

*Catatan :  $h(t)$  dihitung dari setengah diameter pipa menuju  $S_{dmax}$ .*



**Tabel 19.** *Time Scale Scouring Propagation Zona 12*

NO.	X	H (0.5min)	H (1min)	H (2min)	H (T min)	H (eq)
1	-4.8352	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
2	-4.6740	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
3	-4.5129	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
4	-4.3517	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
5	-4.1905	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
6	-4.0293	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
7	-3.8682	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
8	-3.7070	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
9	-3.5458	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
10	-3.3846	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
11	-3.2235	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
12	-3.0623	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
13	-2.9011	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
14	-2.7399	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
15	-2.5788	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
16	-2.4176	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
17	-2.2564	0.0000	-0.4573	-0.4580	-0.4592	-0.4600
18	-2.0953	0.0000	-0.4598	-0.4628	-0.4673	-0.4704
19	-1.9341	0.0000	-0.4640	-0.4704	-0.4804	-0.4872
20	-1.7729	0.0000	-0.4695	-0.4806	-0.4979	-0.5098
21	-1.6117	0.0000	-0.4762	-0.4930	-0.5190	-0.5370
22	-1.4506	0.0000	-0.4838	-0.5069	-0.5429	-0.5677
23	-1.2894	0.0000	-0.4919	-0.5218	-0.5685	-0.6006
24	-1.1282	0.0000	-0.5001	-0.5371	-0.5946	-0.6342
25	-0.9670	0.0000	-0.5082	-0.5520	-0.6201	-0.6670
26	-0.8059	0.0000	-0.5158	-0.5659	-0.6440	-0.6977
27	-0.6447	0.0000	-0.5225	-0.5782	-0.6651	-0.7249
28	-0.4835	0.0000	-0.5280	-0.5884	-0.6826	-0.7474
29	-0.3223	0.0000	-0.5321	-0.5961	-0.6956	-0.7642
30	-0.1612	0.0000	-0.5347	-0.6008	-0.7037	-0.7746
31	0.0000	0.0000	-0.5355	-0.6024	-0.7064	-0.7781
32	0.1612	0.0000	-0.5347	-0.6008	-0.7037	-0.7746
33	0.3223	0.0000	-0.5321	-0.5961	-0.6956	-0.7642
34	0.4835	0.0000	-0.5280	-0.5884	-0.6826	-0.7474
35	0.6447	0.0000	-0.5225	-0.5782	-0.6651	-0.7249
36	0.8059	0.0000	-0.5158	-0.5659	-0.6440	-0.6977
37	0.9670	0.0000	-0.5082	-0.5520	-0.6201	-0.6670
38	1.1282	0.0000	-0.5001	-0.5371	-0.5946	-0.6342
39	1.2894	0.0000	-0.4919	-0.5218	-0.5685	-0.6006

**Tabel 19.** *Time Scale Scouring Propagation Zona 12 (lanjutan)*

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)
40	1.4506	0.0000	-0.4838	-0.5069	-0.5429	-0.5677
41	1.6117	0.0000	-0.4762	-0.4930	-0.5190	-0.5370
42	1.7729	0.0000	-0.4695	-0.4806	-0.4979	-0.5098
43	1.9341	0.0000	-0.4640	-0.4704	-0.4804	-0.4872
44	2.0953	0.0000	-0.4598	-0.4628	-0.4673	-0.4704
45	2.2564	0.0000	-0.4573	-0.4580	-0.4592	-0.4600
46	2.4176	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
47	2.5788	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
48	2.7399	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
49	2.9011	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
50	3.0623	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
51	3.2235	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
52	3.3846	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
53	3.5458	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
54	3.7070	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
55	3.8682	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
56	4.0293	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
57	4.1905	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
58	4.3517	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
59	4.5129	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
60	4.6740	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
61	4.8352	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564

*Catatan :  $h(t)$  dihitung dari setengah diameter pipa menuju  $S_{dmax}$ .*

**Tabel 20.** *Time Scale Scouring Propagation Zona 17*

NO.	X	H (0.5min)	H (1min)	H (2min)	H (T min)	H (eq)
1	-3.6684	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
2	-3.5461	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
3	-3.4238	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
4	-3.3016	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
5	-3.1793	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
6	-3.0570	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
7	-2.9347	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
8	-2.8124	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
9	-2.6902	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
10	-2.5679	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
11	-2.4456	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
12	-2.3233	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
13	-2.2010	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
14	-2.0788	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
15	-1.9565	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
16	-1.8342	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
17	-1.7119	0.0000	-0.4567	-0.4570	-0.4575	-0.4590
18	-1.5896	0.0000	-0.4576	-0.4587	-0.4607	-0.4667
19	-1.4674	0.0000	-0.4591	-0.4616	-0.4660	-0.4791
20	-1.3451	0.0000	-0.4610	-0.4653	-0.4730	-0.4956
21	-1.2228	0.0000	-0.4634	-0.4699	-0.4814	-0.5157
22	-1.1005	0.0000	-0.4661	-0.4750	-0.4910	-0.5383
23	-0.9782	0.0000	-0.4689	-0.4805	-0.5012	-0.5624
24	-0.8560	0.0000	-0.4719	-0.4861	-0.5116	-0.5872
25	-0.7337	0.0000	-0.4747	-0.4916	-0.5218	-0.6113
26	-0.6114	0.0000	-0.4774	-0.4968	-0.5314	-0.6339
27	-0.4891	0.0000	-0.4797	-0.5013	-0.5398	-0.6539
28	-0.3668	0.0000	-0.4817	-0.5051	-0.5468	-0.6704
29	-0.2446	0.0000	-0.4832	-0.5079	-0.5520	-0.6828
30	-0.1223	0.0000	-0.4841	-0.5096	-0.5552	-0.6904
31	0.0000	0.0000	-0.4844	-0.5102	-0.5563	-0.6930
32	0.1223	0.0000	-0.4841	-0.5096	-0.5552	-0.6904
33	0.2446	0.0000	-0.4832	-0.5079	-0.5520	-0.6828
34	0.3668	0.0000	-0.4817	-0.5051	-0.5468	-0.6704
35	0.4891	0.0000	-0.4797	-0.5013	-0.5398	-0.6539
36	0.6114	0.0000	-0.4774	-0.4968	-0.5314	-0.6339
37	0.7337	0.0000	-0.4747	-0.4916	-0.5218	-0.6113
38	0.8560	0.0000	-0.4719	-0.4861	-0.5116	-0.5872
39	0.9782	0.0000	-0.4689	-0.4805	-0.5012	-0.5624

**Tabel 20.** *Time Scale Scouring Propagation Zona 17 (lanjutan)*

NO.	X	H (0)	H (25%)	H (50%)	H (100%)	H (200%)
40	1.1005	0.0000	-0.4661	-0.4750	-0.4910	-0.5383
41	1.2228	0.0000	-0.4634	-0.4699	-0.4814	-0.5157
42	1.3451	0.0000	-0.4610	-0.4653	-0.4730	-0.4956
43	1.4674	0.0000	-0.4591	-0.4616	-0.4660	-0.4791
44	1.5896	0.0000	-0.4576	-0.4587	-0.4607	-0.4667
45	1.7119	0.0000	-0.4567	-0.4570	-0.4575	-0.4590
46	1.8342	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
47	1.9565	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
48	2.0788	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
49	2.2010	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
50	2.3233	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
51	2.4456	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
52	2.5679	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
53	2.6902	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
54	2.8124	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
55	2.9347	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
56	3.0570	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
57	3.1793	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
58	3.3016	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
59	3.4238	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
60	3.5461	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564
61	3.6684	0.0000	-0.4564	-0.4564	-0.4564	-0.4564

*Catatan :  $h(t)$  dihitung dari setengah diameter pipa menuju  $S_{dmax}$ .*

## **LAMPIRAN F**

Perhitungan Perkembangan Kedalaman

*Scouring* Hingga Mencapai Tahap

Kesetimbangan

**Tabel 21** Perkembangan Kedalaman *Scouring* Hingga Mencapai Tahap  
Kesetimbangan

t (m)	St (m)				
	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 9	ZONA 12	ZONA 17
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.1133	0.1557	0.1521	0.1521	0.0529
2	0.2021	0.2638	0.2576	0.2576	0.0984
3	0.2716	0.3388	0.3306	0.3306	0.1376
4	0.3261	0.3908	0.3813	0.3813	0.1713
5	0.3688	0.4269	0.4164	0.4164	0.2004
6	0.4022	0.4520	0.4408	0.4408	0.2254
7	0.4284	0.4694	0.4577	0.4577	0.2469
8	0.4489	0.4814	0.4694	0.4694	0.2654
9	0.4650	0.4898	0.4775	0.4775	0.2814
10	0.4776	0.4956	0.4831	0.4831	0.2951
11	0.4875	0.4997	0.4870	0.4870	0.3069
12	0.4952	0.5025	0.4897	0.4897	0.3171
13	0.5013	0.5044	0.4916	0.4916	0.3259
14	0.5060	0.5057	0.4929	0.4929	0.3334
15	0.5097	0.5067	0.4938	0.4938	0.3399
16	0.5126	0.5073	0.4944	0.4944	0.3455
17	0.5149	0.5078	0.4948	0.4948	0.3503
18	0.5167	0.5081	0.4951	0.4951	0.3544
19	0.5181	0.5083	0.4953	0.4953	0.3580
20	0.5192	0.5085	0.4955	0.4955	0.3611
21	0.5201	0.5086	0.4956	0.4956	0.3637
22	0.5208	0.5086	0.4956	0.4956	0.3660
23	0.5213	0.5087	0.4957	0.4957	0.3679
24	0.5217	0.5087	0.4957	0.4957	0.3696
25	0.5220	0.5087	0.4957	0.4957	0.3711
26	0.5223	0.5088	0.4957	0.4957	0.3723
27	0.5225	0.5088	0.4958	0.4958	0.3734
28	0.5226	0.5088	0.4958	0.4958	0.3743
29	0.5227	0.5088	0.4958	0.4958	0.3751
30	0.5228	0.5088	0.4958	0.4958	0.3758
31	0.5229	0.5088	0.4958	0.4958	0.3764
32	0.5230	0.5088	0.4958	0.4958	0.3769
33	0.5230	0.5088	0.4958	0.4958	0.3773
34	0.5231	0.5088	0.4958	0.4958	0.3777

**Tabel 21** Perkembangan Kedalaman *Scouring* Hingga Mencapai Tahap  
Kesetimbangan (lanjutan)

t (m)	St (m)				
	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 9	ZONA 12	ZONA 17
35	0.5231	0.5088	0.4958	0.4958	0.3780
36	0.5231	0.5088	0.4958	0.4958	0.3783
37	0.5231	0.5088	0.4958	0.4958	0.3785
38	0.5231	0.5088	0.4958	0.4958	0.3788
39	0.5231	0.5088	0.4958	0.4958	0.3789
40	0.5232	0.5088	0.4958	0.4958	0.3791
41	0.5232	0.5088	0.4958	0.4958	0.3792
42	0.5232	0.5088	0.4958	0.4958	0.3793
43	0.5232	0.5088	0.4958	0.4958	0.3794
44	0.5232	0.5088	0.4958	0.4958	0.3795
45	0.5232	0.5088	0.4958	0.4958	0.3796
46	0.5232	0.5088	0.4958	0.4958	0.3796
47	0.5232	0.5088	0.4958	0.4958	0.3797
48	0.5232	0.5088	0.4958	0.4958	0.3797
49	0.5232	0.5088	0.4958	0.4958	0.3798
50	0.5232	0.5088	0.4958	0.4958	0.3798

## **LAMPIRAN G**

*Script Pemrograman Fortran*



```

*****
***
**          PROGRAM NUMERIK PERHITUNGAN SCOURING PADA PIPA BAWAH LAUT          **
**                                                                                   **

**          CODED BY : LIESTIA BUDIARTI (4312100039)                             **
**          JURUSAN TEKNIK KELAUTAN-FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN                 **
**          INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER                                **
**          SURABAYA 2016                                                         **

**                                                                                   **
*****
**          IDENTIFIKASI PROGRAM                                                 **
*****
**          Program ini dibuat untuk menghitung kedalaman maksimum dan          **
**          lebar scouring yang terjadi pada pipa bawah laut pada kondisi        **
**          kombinasi gelombang dan arus. Studi kasus yang digunakan adalah    **
**          pipa gas transmisi PT. PGN SSWJ.                                     **
***
*****
**          IDENTIFIKASI VARIABEL                                                 **
*****
*          D          : diameter luar pipa (m)                                  **
*          g          : percepatan gravitasi (m/s^2)                             **
*          d          : kedalaman pipa terhadap muka air (m)                     **
*          Um         : kecepatan orbital gelombang (m/s)                       **
*          Uc         : kecepatan efektif arus (m/s)                             **
*          d50        : diameter butiran (m)                                     **
*          KC         : Keulegan-Carpenter number                               **
*          Sd         : kedalaman scouring maksimum (m)                         **
*          T          : periode gelombang (s)                                   **
*          w          : lebar scouring diukur dari diameter tengah pipa (m)     **
*          Phi        : konstanta lingkaran                                     **
*          Re_pipe    : Reynold Number Pipa                                     **
***
*****
**          INPUT DATA                                                           **
*****
          IMPLICIT REAL (D,T,U,g,K,a,b,F,r)
          WRITE (*,*)
          WRITE (*,1)
1          FORMAT (1X'INPUT DATA :')
          D = 0.9128
          T = 8.55
          Um = 2.0103
          Uc = 1.700
          g = 9.81
          c = 0.00025
*
          WRITE (*,*)
          WRITE (*,2) D
2          FORMAT ('D =',5X,F8.4,/)
          WRITE (*,3) T
3          FORMAT ('T =',5X,F8.4,/)
          WRITE (*,4) Um
4          FORMAT ('Um =',5X,F8.4,/)
          WRITE (*,5) Uc
5          FORMAT ('Uc =',5X,F8.4,/)
          WRITE (*,6) g
6          FORMAT ('g =',5X,F8.2,/)
          WRITE (*,7) c
7          FORMAT ('d50 =',5X,F8.5,/)
          WRITE (*,*)
          WRITE (*,8)
8          FORMAT (2X,'PILIH FORMULA KEDALAMAN SCOURING PADA KONDISI :',/)
          WRITE (*,9)
9          FORMAT (5X,'1:GELOMBANG REGULER',/)
          WRITE (*,10)
10         FORMAT (5X,'2:ARUS STEADY',/)
          WRITE (*,11)
11         FORMAT (5X,'3:KOMBINASI GELOMBANG DAN ARUS')

```

```

      READ (*,*) FORMULA
*
*
*****
**                                BLOK HITUNGAN                                **
*****
*      Kedalaman Scouring Akibat Gelombang Reguler
      KC=(Um*T)/D
      IF (FORMULA.EQ.1) THEN
      Sd_max=0.1*((KC)**0.5)*D
      w=0.35*(KC**0.65)*D
      WRITE (*,12) KC
12     FORMAT ('KC =',3X,F8.4)
*      Kedalaman Scouring Akibat Arus Steady
      Re=((Um+Uc)*D)/(10**(-6))
      ELSEIF (FORMULA.EQ.2) THEN
      IF ((Re.GT.9.84E+3).AND.(Re.LT.2.05E+5)) THEN
      Sd_curr=0.972*((Uc**2)/(2*g))**0.2*(D**0.8)
      ELSE
      Sd_curr=0.929*((Uc**2)/(2*g))**0.26*(D**0.78)*(c**(-0.04))
      ENDIF
      w=0.35*(KC**0.65)*D
*      Kedalaman Scouring Akibat Kombinasi Gelombang dan Arus
      ELSEIF (FORMULA.EQ.3) THEN
      Re=((Um+Uc)*D)/(10**(-6))
      Ucw=(Uc/(Uc+Um))
      IF ((Ucw.GT.0).AND.(Ucw.LE.0.4)) THEN
      a=0.557-0.912*((Ucw-0.25)**2)
      ELSEIF ((Ucw.GE.0.4).AND.(Ucw.LE.0.7)) THEN
      a=(( -2.14)*Ucw)+1.46
      ENDIF
      IF ((Ucw.GT.0).AND.(Ucw.LE.0.4)) THEN
      b=(-1.14)+((2.24*(Ucw-0.25))**2)
      ELSEIF ((Ucw.GE.0.4).AND.(Ucw.LE.0.7)) THEN
      b=(3.3*Ucw)-2.5
      ENDIF
      IF ((Ucw.GT.0).AND.(Ucw.LE.0.7)) THEN
      F=(1.7)*(KC**a)*EXP(2.3*b)
      ELSEIF ((Ucw.GT.0.7).AND.(Ucw.LE.1)) THEN
      F=1
      ENDIF
      IF ((Re.GT.9.84E+3).AND.(Re.LT.2.05E+5)) THEN
      Sd_curr=0.972*((Uc**2)/(2*g))**0.2*(D**0.8)
      ELSE
      Sd_curr=0.929*((Uc**2)/(2*g))**0.26*(D**0.78)*(c**(-0.04))
      ENDIF
      Sd_comb=(Sd_curr/D)*F*D
      w=0.35*(KC**0.65)*D
*
      WRITE (*,*)
      WRITE (*,14) Ucw
14     FORMAT (5X'Ucw  =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,15) a
15     FORMAT (5X'a      =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,16) b
16     FORMAT (5X'b      =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,17) F
17     FORMAT (5X'F      =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,18) Sd_curr
18     FORMAT (5X'Sd_curr =',2X,F8.4)
      ENDIF
*
*****
**                                BLOK PENULISAN                                **
*****
      WRITE (*,*)
      WRITE (*,19)
19     FORMAT (2X,'-----')
      WRITE (*,20)
20     FORMAT (2X,'DIAMETER          KEDALAMAN SCOURING          LEBAR')
      WRITE (*,21)

```

```

21  FORMAT (2X,'LUAR PIPA          MAKSIMUM          SCOURING')
    WRITE (*,22)
22  FORMAT (2X,'-----')
    WRITE (*,23) D
23  FORMAT (2X,F8.4,\)
    IF (FORMULA.EQ.1) THEN
    WRITE (*,24) Sd_max
24  FORMAT (10X,F8.4,\)
    ELSEIF (FORMULA.EQ.2) THEN
    WRITE (*,25) Sd_curr
25  FORMAT (10X,F8.4,\)
    ELSEIF (FORMULA.EQ.3) THEN
    WRITE (*,26) Sd_comb
26  FORMAT (10X,F8.4,\)
    ENDIF
    WRITE (*,27) w
27  FORMAT (17X,F8.4)
    STOP
    END PROGRAM

```

```

*****
**
**      PROGRAM NUMERIK PERHITUNGAN SCOURING PADA PIPA BAWAH LAUT
**
**      CODED BY : LIESTIA BUDIARTI (4312100039)
**      JURUSAN TEKNIK KELAUTAN-FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
**      INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
**      SURABAYA 2016
**
**
*****
**      IDENTIFIKASI PROGRAM
**
**      Program ini dibuat untuk menghitung kedalaman maksimum dan
**      lebar scouring yang terjadi pada pipa bawah laut pada kondisi
**      gelombang dengan variasi arak clearance antara pipa dengan dasar
**      laut. Hasil yang diperoleh divalidasikan dengan data monitoring
**      dari PT. PGN.
**
*****
**      IDENTIFIKASI VARIABEL
**
*****
**      D      : diameter luar pipa          (m)
**      T      : periode gelombang (s)
**      Um     : kecepatan orbital gelombang (m/s)
**      KC     : Keulegan-Carpenter number
**      Sd     : kedalaman scouring maksimum (m)
**      w      : lebar scouring diukur dari diameter tengah pipa (m)
**
*****
**      INPUT DATA
**
*****
      IMPLICIT REAL (D,T,U,e,K,c)
      WRITE (*,*)
      WRITE (*,1)
1      FORMAT (1X'INPUT DATA :')
      D   = 0.9128
      T   = 8.55
      Um  = 2.0103
      e   = 0
      PI  = 3.14
*
      WRITE (*,2) D
2      FORMAT (5X,'D   =',3X,F8.4,/)
      WRITE (*,3) T
3      FORMAT (5X,'T   =',3X,F8.4,/)
      WRITE (*,4) Um
4      FORMAT (5X,'Um  =',3X,F8.4,/)
      WRITE (*,5) e
5      FORMAT (5X,'e   =',3X,F8.4,/)
*
      WRITE (*,13)
13     FORMAT (1X'OUTPUT SCOUR DEPTH MAX (VARIATION GAP) :',/)
      KC=(Um*T)/D
      IF ((e/D.LE.0.145)) THEN
          Sd=0.105*(KC**0.503)*EXP(-0.284*(e/D))*D
      ELSEIF ((e/D.GT.0.145)) THEN
          Sd=0.024*(KC**0.763)*EXP(-0.631*(e/D))*D
      ENDIF
      w=0.35*(KC**0.65)*D
*
      WRITE (*,6) KC
6      FORMAT (5X,'KC   =',3X,F8.4,/)
      WRITE (*,7) Sd

```

```

7      FORMAT (5X, 'Sd  =', 3X, F8.4, /)
      WRITE (*, 8) w
8      FORMAT (5X, 'w   =', 3X, F8.4, /)
*
      L=2*w
      X=(-2)*w
      X_inc=ABS(X)/30
      X=X-X_inc
*
      WRITE (*, 9)
9      FORMAT (5X, '-----')
      WRITE (*, 10)
10     FORMAT (5X, '          X                      H          ')
      WRITE (*, 11)
11     FORMAT (5X, '-----')
      DO 100 I=1, 61
          DO 10 J=1
              X=X+X_inc
              IF (ABS(X).LT.(L/2)) THEN
                  H=-((e+(D/2)+((Sd/2)*(1+cos(2*PI*(X/L))))))
              ELSEIF (ABS(X).GT.(L/2)) THEN
                  H=-((e+(D/2)))
              ENDIF
              WRITE (*, 12) X, H
12         FORMAT (5X, F8.4, 8X, F8.4)
100    CONTINUE
200    CONTINUE
      STOP
      END PROGRAM

```

```

*****
**
**      PROGRAM NUMERIK PERHITUNGAN SCOURING PADA PIPA BAWAH LAUT
**
**      CODED BY : LIESTIA BUDIARTI (4312100039)
**      JURUSAN TEKNIK KELAUTAN-FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
**      INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
**      SURABAYA 2016
**
**
*****
**      IDENTIFIKASI PROGRAM
**
**      Program ini dibuat untuk menghitung laju propagasi scouring
**      pada pipa bawah laut. Keluaran yang dihasilkan berupa profil 2D
**      scouring.
**
*****
**      IDENTIFIKASI VARIABEL
**
**      D      : diameter luar pipa      (m)
**      g      : percepatan grafitasi    (m/s^2)
**      d      : kedalaman pipa terhadap muka air (m)
**      Um     : kecepatan orbital gelombang (m/s)
**      Uc     : kecepatan efektif arus (m/s)
**      d50    : diameter butiran (m)
**      KC     : Keulegan-Carpenter number
**      Sd     : kedalaman scouring maksimum (m)
**      T      : periode gelombang (s)
**      w      : lebar scouring diukur dari diameter tengah pipa (m)
**      h(x)   : jarak vertikal dari titik diameter pipa hingga
**              bagian bawah lubang scour in m
**      Epsilon : jarak pipa dan dasar laut (m)
**      Phi    : konstanta lingkaran
**
*****
**      INPUT DATA
**
*****
      IMPLICIT REAL (K,D,C,T,U,P,L)
      WRITE (*,1)
1      FORMAT (1X,'INPUT DATA:')
      WRITE (*,*)
          D      = 0.9128
          T      = 8.55
          Um     = 2.0103
          Uc     = 1.700
          g      = 9.81
          y      = 0.00025
          Re_pipe = 3.4E+6
          Epsilon = 0.
          number_points=60
          PI     = 3.14
          Zona  = 3
*
      WRITE (*,2) D
2      FORMAT (5X,'D      =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,3) T
3      FORMAT (5X,'T      =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,4) Um
4      FORMAT (5X,'Um     =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,5) Uc
5      FORMAT (5X,'Uc     =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,6) g
6      FORMAT (5X,'g      =',3X,F5.2,/)

```

```

7      WRITE (*,7) y
      FORMAT (5X,'d50 =',3X,F10.7,/)
      WRITE (*,8) PI
8      FORMAT (5X,'PI          =',3X,F5.2,/)
      WRITE (*,9) Epsilon
9      FORMAT (5X,'Epsilon =',3X,F5.2,/)
      WRITE (*,10) Re_pipe
10     FORMAT (5X,'Re_pipe =',2X,E12.2,/)
      WRITE (*,11) number_points
11     FORMAT (5X,'number points =',2X,I5)
*
*****
**                                     BLOK HITUNGAN                                     **
*****
*      Kedalaman Scouring Akibat Gelombang Reguler
      WRITE (*,*)
      WRITE (*,*)
      WRITE (*,12)
12     FORMAT (1X,'SCOURING PROPAGATION CALCULATION :',A20,/)
      KC=(Um*T)/D
*
      C=(Uc/(Uc+Um))
      IF ((C.GT.0).AND.(C.LE.0.4)) THEN
        a=0.557-0.912*((C-0.25)**2)
      ELSEIF ((C.GE.0.4).AND.(C.LE.0.7)) THEN
        a=(-2.14)*C+1.46
      ENDIF
      IF ((C.GT.0).AND.(C.LE.0.4)) THEN
        b=(-1.14)+((2.24*(C-0.25))**2)
      ELSEIF ((C.GE.0.4).AND.(C.LE.0.7)) THEN
        b=(3.3*C)-2.5
      ENDIF
      IF ((C.GT.0).AND.(C.LE.0.7)) THEN
        F=(1.67)*(KC**a)*EXP(2.3*b)
      ELSEIF ((C.GT.0.7).AND.(C.LE.1)) THEN
        F=1
      ENDIF
      IF ((Re.GT.9.84E+3).AND.(Re.LT.2.05E+5)) THEN
        Sd_curr=0.972*(((Uc**2)/(2*g))**0.2)*(D**0.8)
      ELSE
        Sd_curr=0.929*(((Uc**2)/(2*g))**0.26)*(D**0.78)*(y**(-0.04))
      ENDIF
      Sd_comb=(Sd_curr/D)*F*D
      w=0.35*(KC**0.65)*D
*
      WRITE (*,*)
      WRITE (*,16) Zona
16     FORMAT (7X,'Zona      =',2X,F3.1,/)
      WRITE (*,17) KC
17     FORMAT (7X,'KC       =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,18) L
18     FORMAT (7X,'2w      =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,19) C
19     FORMAT (7X,'Ucw     =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,20) a
20     FORMAT (7X,'a       =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,21) b
21     FORMAT (7X,'b       =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,22) F
22     FORMAT (7X,'F       =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,23) Sd_curr
23     FORMAT (7X,'Sd_curr  =',2X,F8.4,/)
      WRITE (*,24) Sd_comb
24     FORMAT (7X,'Sd_max   =',2X,F8.4,/)
      L=2*w

```

```

*
X=(-2)*w
WRITE (*,13)X
13  FORMAT (7X,'X   =',2X,F5.2,/)
X_inc=(2*w)/number_points
WRITE (*,14)X_inc
14  FORMAT (7X,'X_inc   =',2X,F5.2,/)
X=X-X_inc
*
WRITE (*,*)
WRITE (*,25)
25  FORMAT (9X,'-----')
WRITE (*,26)
26  FORMAT (9X,'          X          H          ')
WRITE (*,27)
27  FORMAT (9X,'-----')
DO 100 I=1,60
    DO 10 J=1
        X=X+X_inc
        IF (ABS(X).LT.(L/2)) THEN
            H=-((Epsilon+(D/2)+((Sd_max/2)*(1+cos(2*PI*(X/L))))))
        ELSEIF (ABS(X).GT.(L/2)) THEN
            H=-((Epsilon+(D/2)))
        ENDIF
WRITE (*,15)X,H
15  FORMAT(12X,F8.4,8X,F8.4)
100 CONTINUE
300 CONTINUE
STOP
END PROGRAM

```



```

*****
**
**      PROGRAM NUMERIK PERHITUNGAN SCOURING PADA PIPA BAWAH LAUT
**
**      CODED BY : LIESTIA BUDIARTI (4312100039)
**      JURUSAN TEKNIK KELAUTAN-FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
**      INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
**      SURABAYA 2016
**
**
*****
**      IDENTIFIKASI PROGRAM
**
**      Program ini dibuat untuk menghitung laju propagasi scouring
**      berbasis time scale. keluaran yang dihasilkan berupa profil 2D
**      scouring yang dapat ditinjau pada waktu tertentu. Sehingga
**      dapat dilihat proses penggerusan hingga mencapai kedalaman
**      maksimum.
**
*****
**      IDENTIFIKASI VARIABEL
**
*****
*      D      : diameter luar pipa      (m)
*      g      : percepatan gravitasi    (m/s^2)
*      d      : kedalaman pipa terhadap muka air (m)
*      Um     : kecepatan orbital gelombang (m/s)
*      Uc     : kecepatan efektif arus (m/s)
*      d50    : diameter butiran (m)
*      KC     : Keulegan-Carpenter number
*      Sd     : kedalaman scouring maksimum (m)
*      T      : periode gelombang (s)
*      w      : lebar scouring diukur dari diameter tengah pipa (m)
*      h(x)   : jarak vertikal dari titik diameter pipa hingga
*              bagian bawah lubang scour in m
*      Epsilon : jarak pipa dan dasar laut (m)
*      Phi    : konstanta lingkaran
*
*****
**      INPUT DATA
**
*****
      IMPLICIT REAL (D,T,U,g,K,a,b,F,r,L)
      WRITE (*,*)
      WRITE (*,1)
1      FORMAT (1X'INPUT DATA :')
      D = 0.9128
      T = 8.55
      Um = 2.0103
      Uc = 1.700
      g = 9.81
      c = 0.00025
      Ow = 3.2647
      Oc = 0.3074
      t = 1
*
      KC=(Um*T)/D
      Re=((Um+Uc)*D)/(10**(-6))
      Ucw=(Uc/(Uc+Um))
      IF ((Ucw.GT.0).AND.(Ucw.LE.0.4)) THEN
        a=0.557-0.912*((Ucw-0.25)**2)
      ELSEIF ((Ucw.GE.0.4).AND.(Ucw.LE.0.7)) THEN
        a=(( -2.14)*Ucw)+1.46
      ENDIF
      IF ((Ucw.GT.0).AND.(Ucw.LE.0.4)) THEN
        b=(-1.14)+((2.24*(Ucw-0.25))**2)

```

```

ELSEIF ((Ucw.GE.0.4).AND.(Ucw.LE.0.7)) THEN
  b=(3.3*Ucw)-2.5
ENDIF
IF ((Ucw.GT.0).AND.(Ucw.LE.0.7)) THEN
  F=(1.7)*(KC**a)*EXP(2.3*b)
ELSEIF ((Ucw.GT.0.7).AND.(Ucw.LE.1)) THEN
  F=1
ENDIF
IF ((Re.GT.9.84E+3).AND.(Re.LT.2.05E+5)) THEN
  Sd_curr=0.972*((Uc**2)/(2*g))**0.2*(D**0.8)
ELSE
  Sd_curr=0.929*((Uc**2)/(2*g))**0.26*(D**0.78)*(c**(-0.04))
ENDIF
Sd_comb=(Sd_curr/D)*F*D
w=0.35*(KC**0.65)*D
Tn=0.02*(((1-Ucw)*Ow)+(Ucw*Oc))**(-1.7)
Ts=((D**2)/(9.81*(2.65-1)*(c**3)))**0.5*Tn/60
St=Sd_comb*(1-(exp(-t/Ts)))
WRITE (*,*)
WRITE (*,14)Ucw
14  FORMAT (5X'Ucw  =',2X,F8.4,/)
WRITE (*,15)a
15  FORMAT (5X'a      =',2X,F8.4,/)
WRITE (*,16)b
16  FORMAT (5X'b      =',2X,F8.4,/)
WRITE (*,17)F
17  FORMAT (5X'F      =',2X,F8.4,/)
WRITE (*,18)Sd_curr
18  FORMAT (5X'Sd_curr =',2X,F8.4,/)
WRITE (*,26)Sd_comb
26  FORMAT (5X,'Sd_comb =',2X,F8.4,2X,/)
WRITE (*,27)w
27  FORMAT (5X,'w      =',2X,F8.4,2X,/)
WRITE (*,28)t
28  FORMAT (5X,'t      =',6X,F4.2,/)
WRITE (*,29)Tn
29  FORMAT (5X,'Tn     =',2X,F8.4,/)
WRITE (*,30)Ts
30  FORMAT (5X,'Ts     =',2X,F8.4,/)
WRITE (*,31)St
31  FORMAT (5X,'St     =',2X,F8.4,/)
WRITE (*,*)
L=2*w
X=(-4)*w
X_inc=ABS(X)/30
X=X-X_inc
WRITE (*,38)
38  FORMAT (3X,'TIME SCALE SCOURING PROPAGATION :',25A,/)
WRITE (*,*)
WRITE (*,32)L
32  FORMAT (5X,'W      =',2X,F7.4,/)
WRITE (*,33)X_inc
33  FORMAT (5X,'X_inc   =',2X,F7.4,/)
WRITE (*,*)
WRITE (*,34)
34  FORMAT (5X,'-----')
WRITE (*,35)
35  FORMAT (5X,'      X              H      ')
WRITE (*,36)
36  FORMAT (5X,'-----')
DO 100 I=1,61
  DO 10 J=1
    X=X+X_inc
    IF (ABS(X).LT.(L/2)) THEN
      H=-((E+(D/2)+((St/2)*(1+cos(2*PI*(X/L))))))

```

```

                ELSEIF (ABS(X).GT.(L/2)) THEN
                    H=- ( (E+(D/2)) )
                ENDIF
WRITE (*,37) X,H
37  FORMAT(5X,F8.4,10X,F8.4)
100 CONTINUE
300 CONTINUE
STOP
END PROGRAM

```

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

1. Perhitungan kedalaman dan lebar *scouring* dengan menggunakan formula dengan pendekatan matematis hasil eksperimen laboratorium yang dilakukan oleh Sumer and Fredsoe (2002), pada Tugas Akhir ini menunjukkan bahwa  $S_{dmax}$  dan  $w$  terbesar berada pada Zona 3 dengan  $S_{d_{mean}} = 0.5205$  m, dan  $w_{mean} = 2.0969$  m dimana diperoleh nilai kecepatan orbital gelombang ( $U_w$ ) yang paling besar, yaitu 0.4684 m/s
2. Dengan memvariasikan nilai *gap/clearance* pipa terhadap *seabed*, diperoleh  $S_{d_{max}}$  yang juga bervariasi.  $S_{d_{max}}$  akan menurun seiring dengan bertambahnya nilai  $e$ . Nilai  $S_d$  terbesar didapatkan saat  $e = 0$  m. *Scouring* akan mendekati nilai nol pada  $gap$  di atas 10 m, artinya pada jarak tersebut *scouring* diasumsikan tidak terjadi lagi.
3. Berdasarkan hasil pemodelan yang menghasilkan sketsa profil 2D *scouring*, diperoleh hubungan antara kedalaman perairan dengan  $S_{dmax}$  dan  $w$ . Semakin dalam suatu perairan, maka semakin kecil kedalaman *scouring* ( $S_d$ ) dan lebar *scouring* ( $w$ ). Sebaliknya, semakin dangkal suatu perairan, maka kedalaman dan lebar *scouring* akan semakin meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh kecepatan orbital gelombang ( $U_w$ ) yang semakin menurun seiring dengan naiknya kedalaman perairan. Namun, pada kondisi kombinasi arus dan gelombang, faktor kecepatan arus bisa jadi mempengaruhi kecepatan efektif yang menggerakkan sedimen. Sehingga pada kasus di zona 17 yang mempunyai kedalaman terkecil bukan merupakan zona dengan kedalaman *scouring* paling besar.
4. Parameter yang mempengaruhi kedalaman *scouring* maksimum ( $S_{dmax}$ ) adalah kecepatan efektif yang merupakan superposisi dari kecepatan arus dan kecepatan orbital gelombang ( $U_{cw}$ ) dan nilai Keulegan-Carpenter (KC), dimana keduanya adalah fungsi kecepatan orbital gelombang ( $U_w$ ).  $U_{cw}$  berbanding terbalik dengan  $S_{dmax}$ , artinya

semakin besar nilai  $U_{cw}$  maka  $S_{dmax}$  yang dihasilkan akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya. Sedangkan  $S_{dmax}$  akan meningkat seiring dengan naiknya nilai  $KC$ .

## 5.2 Saran

Untuk keperluan penelitian selanjutnya, saran yang bisa digunakan antara lain :

1. Untuk mengetahui keakuratan pemodelan secara numerik, dapat dibandingkan dengan persamaan lain dari hasil penelitian mengenai *scouring* sehingga didapatkan nilai kedalaman *scouring* yang memenuhi kondisi sebenarnya di lapangan pada studi kasus di lokasi lain.
2. Perlu dilakukan pemodelan secara fisik dengan mempertimbangkan dimensi pipa sehingga dapat diketahui karakteristik lubang *scour* yang sesungguhnya.
3. Dapat dilakukan variasi terhadap jumlah pipa (*multipipe*) dengan jarak dan posisi tertentu.
4. Dapat dilakukan variasi terhadap diameter pipa atau jenis tanah sehingga dapat diketahui hubungan parameter dengan kedalaman maupun lebar *scour*.
5. Untuk mengetahui karakteristik *scouring* dari satu perairan dengan perairan lainnya, perlu dilakukan analisa lebih mendalam dengan membandingkan hasil analisa antara gaya penggerak sedimen lainnya (misal kondisi arus saja atau gelombang saja, kondisi pada perairan dengan gelombang irreguler, dan lain-lain).

## DAFTAR PUSTAKA

- Cevik, E. And Yuksel, Y. (1999). Scour Under Submarine Pipelines In Wave And Shoaling Conditions. *J. Hydraulic Engineering*, ASCE, vol. 125, No.1, 1-11.
- Cheng, Liang, et al. (2014). 3D *Scour* Below Pipelines Under Waves And Combined Waves And Currents. *Coastal Engineering*. (83) : 137-149.
- Chiew, Y. M. 1997. Prediction Of Maximum *Scour* Depth at Submarine Pipelines. *J. Hydraulic Engineering*. ASCE, Vol. 117, No. 4, 452-466.
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual*. US Army Coastal Engineering Research Center. Washington
- De Sonnevile, B, et al. (2008). *Scour* Reduction by Collars Around Offsjore Monopiles. *Proceeding ICSE*, Vol. 5, No. 05, 460-470.
- Dogan, Mustafa and Arisoy, Yalcin. (2015). *Scour* Regime Effects on the *Time scale* Of Wave Below Submerged Pipes. *Ocean Engineering*. (104) : 673-679.
- Etemad-Shahidi, A.; Yasa, R.; Kazeminezhad, M. H. 2010 . Prediction of wave-induced scour depth under submarine pipelines using machine learning approach. *Applied Ocean Reserch* (2010). doi:10.1016/j.apor.2010.11.002
- Guo, Boyun. et al. (2005). *Offshore Pipelines*. Gulf Profesional Publishing, Burlington. USA.
- Hamid, Abdul dan Juharis, Rasul. 2007. *Teknologi Informasi dan Komunikasi*. Quadra, Yudhistira.
- Kinsman, B., 1965. *Wind Waves*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, p. 676.
- Kiziloz, Burak, et al. (2013). *Scour* Below Submarine Pipelines Under Irreguler Wave Attack. *Coastal Engineering*. (79) : 1-8.

- Kjeldsen, S. P., Gjorsvik, O., Bringager, K. G. And Jacobsen, J. (1973): Local Scour Near Offshore Pipelines. *Second International Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, Conf. Reykjavik, 308-331.
- Leeuwenstein, W., Bijker, E. A., Peerbolte, E.B. and Wind, H. G. (1985): The Natural Self-Burial Of Submarine Pipelines. *Proc. 4th International Conf. on Behavior Of Offshore Structures (BOSS)*, Elsevier Science Publishers, vol. 2, 717-728.
- Nugraha, Muhammad Catur. 2012. *Analisis Pengaruh Scouring pada Pipa Bawah Laut (Studi Kasus Pipa Gas Transmisi SSWJ Jalur Pipa Gas Labuhan Maringgai-Muara Bekasi*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS.Surabaya.
- Nugroho, Adi. 2011. *Analisa Scouring Pipa Bawah Laut Kodeco Jalur Poleng-Gresik Dengan Variasi Tipe Tanah*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS. Surabaya.
- M, Jogiyanto H. 1995. *Teori Dan Aplikasi Program Komputer Bahasa Fortran*. Yogyakarta : Andi Offset.
- Mouselli, A. H. (1981). *Offshore Pipeline Design Analysis and Methods*. Penwell Book. Oklahoma.
- Palmer, A. C., and King, R. A., (2008). *Subsea Pipeline Engineering*, 2nd ed., Pennwell Corporation, Tulsa, Oklahoma.
- Sudarma, Made. 2012. *Konsep Pemrograman Komputer*. Udayana University Press, Kampus Universitas Udayana Denpasar.
- Sumer, B. Mutlu, dan Jorgen, Fredsoe. 1990. *Scour Below Pipelines in Waves*. J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, vol. 116, No.3, 307-323.
- Sumer, B. Mutlu, dan Jorgen, Fredsoe. 1996. Scour Around Pipelines in combined Waves and Current. *Proceeding 7th International Conference on Offshore*

*Mechanics and Arctic Engineering Conference*, ASME, Florence, Italy, vol. V, Pipeline Technology, 595-602.

Sumer, B. Mutlu, dan Jorgen, Fredsoe. 2002. *The Mechanics Of Scour In The Marine Environment*. World Scientific : Denmark.

Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset : Yogyakarta.

Terzaghi, K. (1948) : *Theoritical Soil Mechanics*. London: Chapman and Hall, John Willey And Sons, inc., NY

Westerhorstmann, Joseph Henry. 1988. *The Effect of Pipe Spacing on Marine Pipeline Scour*. Thesis. Master of Science Ocean Engineering. Texas A&M University.

Whitehouse, Richard. 1998. *Scour at Marine Structures*. Thomas Telford Publications : London.

Y. Mao, (1986): *The Interaction Between A Pipeline And An Erodible Bed*. Series Paper 39, Tech. Univ. Of Denmark, ISVA, in partial fulfillment of the requirement for the degree of Ph.D.

Yasa, R. (2011). Prediction of the *Scour* Depth under Submarine Pipelines-in Wave Condition. *Journal of Coastal Research ICS2011 (Proceedings)* (64) : 627-630.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Liestia Budiarti dilahirkan di Kabupaten Malang, 05 Mei 1994. Merupakan anak sulung dari tiga bersaudara membuat penulis terdidik menjadi sosok yang tangguh dan pekerja keras. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Kepanjen 03, SMPN 01 Kepanjen hingga SMAN 01 Kepanjen. Setelah tamat sekolah menengah atas, penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui seleksi SNMPTN jalur reguler dan diterima di jurusan Teknik Kelautan – Fakultas Teknologi Kelautan. Di bangku perkuliahan, penulis aktif di berbagai kegiatan kepanitiaan maupun organisasi intra kampus. Penulis pernah mengikuti kegiatan IECC for Indonesia yang diadakan oleh IECC BEM – ITS di Desa Kepetingan, Sidoarjo dan banyak menuai pengalaman hidup yang sangat berharga selama di sana. Penulis juga pernah menjadi *Organizer Komite* dan ikut serta dalam proses pengaderan mahasiswa baru Teknik Kelautan. Selain itu di organisasi kampus, penulis pernah menjabat sebagai Sekretaris Departemen Syi'ar dan Ketua Keputrian di Bahrul 'Ilmi untuk periode 13/14 dan 14/15 berturut-turut. Di tahun ketiga, penulis diamanahi tanggung jawab sebagai Ketua Divisi Keilmiahan di Departemen Riset dan Teknologi BEM – FTK. Penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek di PT. Pelindo III, Surabaya. Bidang ahli yang dipilih penulis adalah Teknik Pantai dan Pelabuhan Laut (*coastal engineering*) dan mengambil *scouring* pada pipa bawah laut sebagai tema Tugas Akhir.

*Contact person* : [liestia.budiarti@gmail.com](mailto:liestia.budiarti@gmail.com)